

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



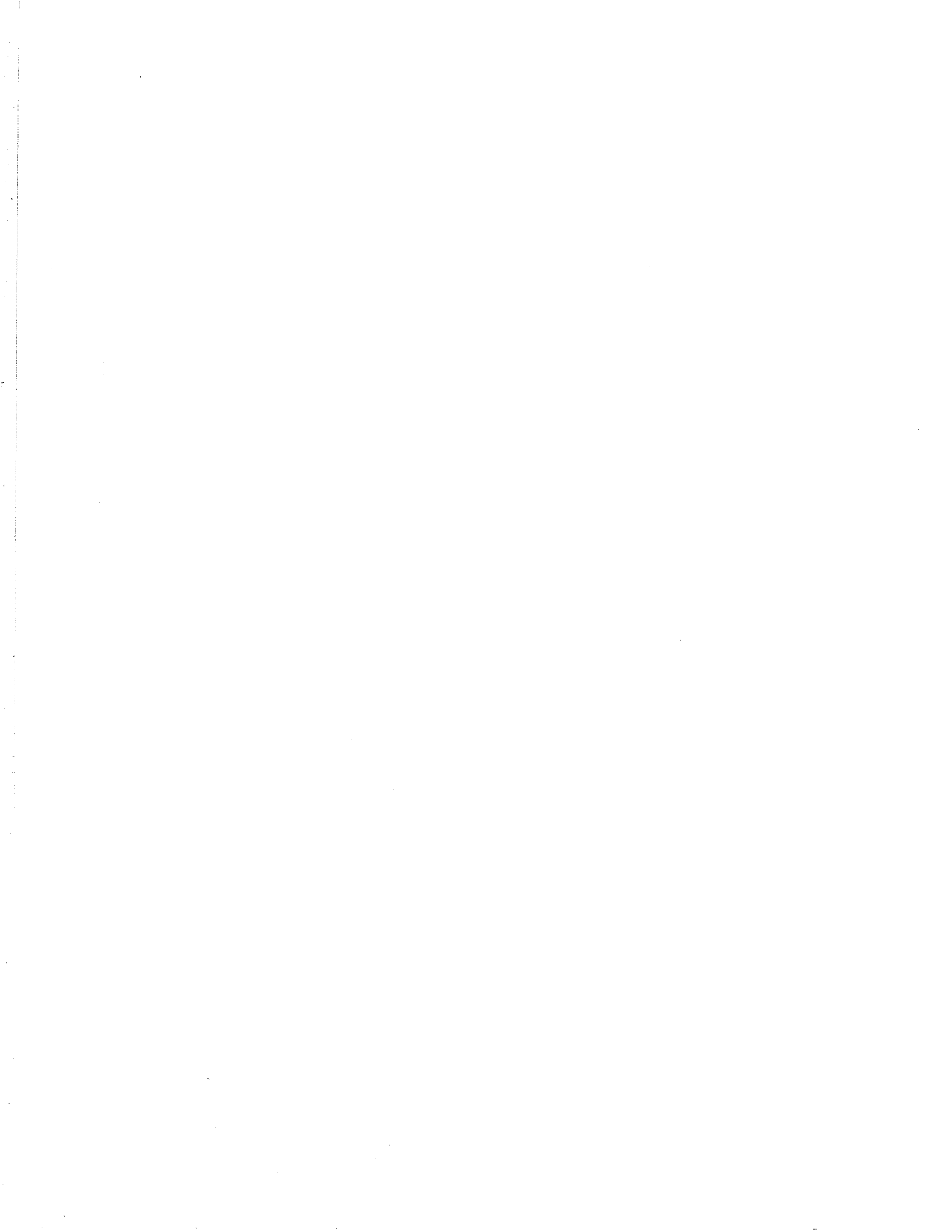
Excelencia que trasciende

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA UNA INDUSTRIA CÁRNICA ALIMENTICIA DE GUATEMALA”**

LUIS ARMANDO JOCOL SARAT

Guatemala

2006



Diseño de una planta de tratamiento de aguas
residuales para una industria cárnica alimenticia de
Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

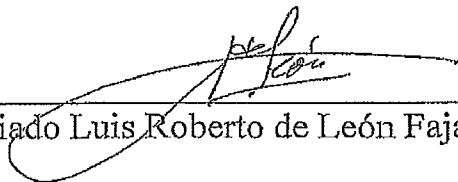
“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CÁRNICA ALIMENTICIA DE GUATEMALA”

Trabajo de investigación presentado por
LUIS ARMANDO JOCOL SARAT
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química

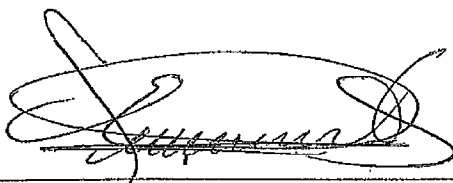
Guatemala

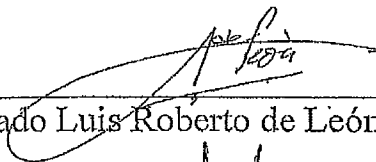
2006

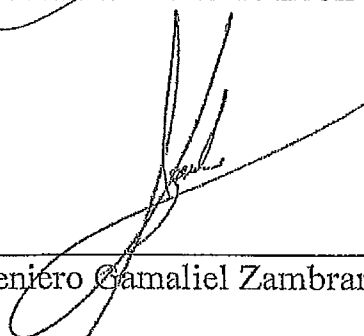
Vo.Bo :

(f) 
Licenciado Luis Roberto de León Fajardo

Tribunal:

(f) 
Ingeniero José Eduardo Calderón

(f) 
Licenciado Luis Roberto de León Fajardo

(f) 
Ingeniero Camaliel Zambrano

Fecha de aprobación: 27 de junio de 2006

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Dios

por la sabiduría y bendiciones...

Mis padres y hermanas

por su amor y apoyo...

La Fundación Juan Bautista Gutiérrez

por toda su ayuda...

Mis amigos, en especial al Licenciado Edgar Estrada

por todo el apoyo brindado...

Mis profesores, en especial al Licenciado Rafael Mazariegos

por darme el valor para alcanzar mis metas...

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

La Fundación Juan Bautista Gutiérrez,

quienes a lo largo de este tiempo me han ayudado

a alcanzar mis sueños....

En especial a *Doña Isabel Gutiérrez de Bosch*

por su ejemplo y cariño manifestado.

RESUMEN

El objetivo general de este trabajo es desarrollar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una industria cárnica de Guatemala, con un caudal de diseño de $35.77 \text{ m}^3/\text{h}$ para un periodo de 15 años.

Para lograr este objetivo se realizó un estudio de caudales y calidad de aguas de los procesos que se realizan en la empresa. Este estudio fue elaborado por un laboratorio especializado. Con base a estos análisis se realizó la elección del tratamiento adecuado, para que el efluente cumpla con los parámetros establecidos por el Decreto 2066-2005 del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) ente gubernamental que regula el tratamiento de aguas residuales en Guatemala.

La producción de gas metano en el reactor anaeróbico de flujo ascendente es de $723.5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}$, el cual produce una energía de $23.8 \times 10^6 \text{ kJ/d}$.

La construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales tendrá un costo estimado de Q 1, 117,200.00 con costos mensuales de operación y mantenimiento de Q 27,185.39.

ABSTRACT

The general objective of this work is to design a residual water treatment plant for a guatemalan meat industry, for a flow of 35,77 m³/h for a period of 15 years.

To achieve this objective, a study of flows and water quality of the processes done in the company, was made. This study was elaborated by a specialized laboratory. Based on those analyses, the selection of the suitable treatment was done, to allow the effluent to fulfill the parameters established by decree 236-2006 of residual water treatment in Guatemala.

The production of methane gas in the up flow anaerobic sludge blanket is 723.5 m³ CH₄/d, which will produce 23.8 x10⁶ kJ/d of energy.

The construction of the residual water treatment plant will have an estimated cost of Q 1,117,200.00 with monthly costs of operation and maintenance of Q 27,185.39.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE ILUSTRACIONES	xii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. ASPECTOS GENERALES.....	2
B. EFLUENTES LÍQUIDOS.....	2
C. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES.....	2
D. MÉTODOS ANALÍTICOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	4
E. AGUAS RESIDUALES.....	6
F. OPERACIONES UNITARIAS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	7
III. JUSTIFICACIÓN	19
IV. OBJETIVOS	20
A GENERAL.....	20
B ESPECÍFICOS.....	20
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	21

Capítulos	Página
VI. METODOLOGÍA	22
VII. RESULTADOS.....	23
VIII. DISCUSIÓN	41
IX. CONCLUSIONES	46
X. RECOMENDACIONES	47
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	48
XII. APÉNDICE.....	49
XIII. GLOSARIO	85

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Productos químicos empleados en el tratamiento del agua residual.....	15
2. Proyección de cargas contaminantes a futuro	29
3. Descripción de costos de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales proyectada a 15 años	30
4. Costos de salarios por mes del personal de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales	31
5. Resumen de costos	32
6. Porcentajes utilizados para el cálculo de salarios y prestaciones	32
7. Metros cúbicos necesarios para amortiguar los caudales pico en cada proceso	52
8. Caudales promedio y volumen acumulado en 24 horas en el proceso A	53
9. Caudales promedios y volumen acumulado en 24 horas en el proceso B	54
10. Caudales promedios y volumen acumulado en 24 horas en el proceso C	55
11. Caudales promedios y volumen acumulado en 24 horas en el proceso D	56
12. Descripción de la cantidad de contaminantes en los diferentes procesos de la planta de alimentos	73
13. Análisis de agua residual final, producto de los cuatro procesos que se realizan en la empresa cárnica	76
14. Cargas de contaminante en el agua residual y aguas negras de los cuatro procesos que actualmente se realizan en la empresa cárnica.....	77

Cuadro	Página
15. Comparación de la cantidad de contaminantes encontrados en las aguas residuales en cada uno de los procesos y los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales industriales.....	78
16. Valores del coeficiente K_3	79
17. Dimensiones de la trampa de grasas de acuerdo al caudal.....	80
18. Valores de diseño en la decantación primaria.....	81
19. Valores de diseño en la decantación secundaria.....	82
20. Tiempos de residencia típicos y gradientes promedios de velocidad para mezclado y floculación en el tratamiento de aguas residuales.....	82
21. Valores típicos importantes sobre propiedades físicas y químicas del gas metano producido en un reactor UASB.....	83
22. Carga volumétrica orgánica (L_{org}) recomendada en función de la temperatura para un 85-95 % de remoción de DQO.....	83
23. Velocidad de flujo de llenado y altura recomendada para un reactor UASB.....	84

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. Procesos continuos de tratamiento anaeróbico.....	17
2. Diseño del agitador de paletas para el tanque de floculación.....	24
3. Modelo de rodete del agitador del tanque de igualación.....	25
4. Modelo del filtro prensa utilizado en el tratamiento de lodos.....	27
5. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	28
6. Volumen acumulado en el proceso A.....	57
7. Volumen acumulado en el proceso B.....	58
8. Volumen acumulado en el proceso C.....	59
9. Volumen acumulado en el proceso D.....	60
10. Coeficiente K_2	79

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria alimenticia guatemalteca, depende en alto grado de un abastecimiento adecuado de agua (agua de proceso) que utiliza como componente de productos, o de manera indirecta en el control del proceso de producción, como en el enfriamiento de máquinas que generan calor o en la limpieza de determinadas operaciones y partes del proceso productivo.

Lamentablemente, se ve con preocupación que en las industrias de alimentos, un alto porcentaje del agua que entra a la planta como agua de proceso, se desecha a drenajes, ríos y lagos, arrastrando con ella una gran cantidad de materia orgánica resultado de los desechos de los procesos.

Además la mayoría de esa agua ha servido para lavado de las instalaciones de la planta y de maquinaria y ha entrado en contacto con sosa cáustica y otros químicos que se utilizan para desinfectar.

Por si fuera poco, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en colaboración con el Banco Mundial y la OMS (Organización Mundial de la Salud) reporta en un estudio realizado en noviembre de 1995 que:

<<De las diez primeras causas de muerte infantil, 50 % se relaciona con agua y saneamiento; la mortalidad infantil fue de 48,3 por mil nacidos vivos en 1992>>

Esto pone de manifiesto la importancia de no contaminar los mantos acuáticos, ríos y lagos ya que repercuten de una manera drástica sobre la misma población.

En otro estudio reciente realizado en 1998 se indica que:

<<El 23 % de las industrias del país están ubicadas en la cuenca del lago de Amatitlán y sólo el 1 % posee sistemas de pre-tratamiento de aguas. Gran parte de los desechos industriales no tóxicos, tales como el zinc, aceites y colorantes que se depositan en el lago y se mantienen en suspensión en la superficie. Un dato increíble, es que el río Villalobos arrastra alrededor de 500 mil toneladas de sedimentos al lago, lo cual hace que pierda 70 cm de profundidad cada año>>
(Reyna, 1998)

Es por esta razón que es de vital importancia; contar con un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, para frenar de alguna manera el daño que se está causando a los ecosistemas.

Este trabajo tiene como finalidad, elaborar el diseño de una planta para el tratamiento de aguas residuales enfocado en una industria cárnica guatemalteca, tomando en cuenta los recursos tecnológicos de los que hoy en día se disponen en el mercado y que no tenga un costo económico elevado.

II. ANTECEDENTES

A. Aspectos generales

Antes de hablar del tratamiento de las aguas residuales se debe conocer un poco de los tipos de aguas residuales que existen, los tipos de contaminantes, la clasificación de los contaminantes, los contaminantes habituales en las aguas residuales, las consecuencias que acarrear los vertidos, los métodos analíticos para el control de la calidad del agua para poder así familiarizarnos con los diferentes tratamientos:

B. Efluentes líquidos

Toda industria que consume agua tendrá algún efluente líquido. La calidad de los efluentes puede variar mucho más que la de las emisiones atmosféricas y dependerá completamente del proceso industrial. Por ejemplo, en el caso de la industria alimenticia se encuentra un alto contenido de materia orgánica. Asimismo, algunos efluentes pueden ser alcalinos debido al lavado de los equipos con soda cáustica.

Los efluentes de la industria de acabado de metales, por otro lado, contienen sustancias inorgánicas principalmente metales pesados (Ej. Cromo, zinc) y cianuro (Fair, 1971:78)

C. Clasificación de los contaminantes:

Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en un agua residual son muchas y diversas.

1. **Contaminantes orgánicos.** Son aquellos cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y vertidos generados en la industria agroalimentaria.

Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales son:

- a. **Proteínas.** Proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- b. **Carbohidratos.** Se incluye en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- c. **Aceites y Grasas.** Altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.

- d. Otros. Incluiremos varios tipos de compuestos, como los tensoactivos, fenoles, organoclorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad. (Fair, 1971:80)
2. Contaminantes inorgánicos. Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc.

Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industrial

Los componentes inorgánicos de las aguas residuales están en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante. (Fair, 1971:82)
3. Contaminantes habituales en las aguas residuales.
 - a. Arenas. Se entiende como tales, a una serie de partículas de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.
 - b. Grasas y aceites. Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995:66)
4. Residuos con requerimiento de oxígeno. Son aquellos tanto orgánicos como inorgánicos que sufren fácilmente y de forma natural procesos de oxidación. Se llevan a cabo cuando consumen oxígeno del medio. Estas oxidaciones se realizan bien por vía química o bien por vía biológica.
 - a. DQO. La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua oxidables en unas condiciones determinadas.

Esta medida es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm, o algo superiores. Las aguas residuales domésticas suelen contener entre 250 y 600 ppm, y en las residuales industriales las concentraciones dependen del proceso de fabricación.

- b. DBO. La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios.

Existen distintas variantes en la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, entre ellas las que se refieren al período de incubación. La más frecuente es la determinación de DBO a los cinco días (DBO₅).

Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1ppm; contenidos superiores son indicativos de contaminación. En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm, y en las industriales depende del proceso de fabricación, pudiendo alcanzar varios miles de ppm. La relación entre los valores de DBO y DQO es indicativo de la biodegradación de la materia contaminante. En aguas residuales un valor de la relación DBO/DQO menor de 0,2 se interpreta como un vertido de tipo inorgánico y orgánico si es mayor de 0,6.

- c. Carbono Orgánico Total (COT). Este parámetro, como su nombre lo indica, es la medida del contenido total de carbono de los compuestos orgánicos presentes en las aguas. Se refiere tanto a compuestos orgánicos fijos como volátiles, naturales o sintéticos. Es la expresión más correcta del contenido orgánico total.
- d. Nitrógeno y Fósforo. Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas. (Metcalf & Eddy, 1995:105)

D. Métodos analíticos para el control de la calidad del agua:

1. Color, olor y sabor. La coloración del agua puede clasificarse en verdadera o real cuando se debe sólo a las sustancias que tiene en solución, y aparente cuando su color es debido a las sustancias que tiene en suspensión. Los colores reales y aparentes son casi idénticos en el agua clara y en aguas de escasa turbidez.

La coloración de un agua se compara con la de soluciones de referencia de platino-cobalto en tubos colorimétricos, o bien con discos de vidrio coloreados calibrados según los patrones mencionados.

El olor puede ser definido como el conjunto de sensaciones percibidas por el olfato al captar ciertas sustancias volátiles. El procedimiento normalmente utilizado es el de ir diluyendo el agua y examinar hasta que no presente ningún olor perceptible. El resultado se da como un número que expresa el límite de percepción del olor, y corresponde a la dilución que da olor perceptible. Debido al carácter subjetivo de la medida, es recomendable que la medida la realicen al menos dos

personas distintas, comparando la percepción con la de un agua desodorizada. Debe evitarse, como es lógico, en todo lo posible, la presencia de otros olores en el ambiente.

Por último, la evaluación del sabor, se realiza por degustación del agua a examinar, comenzando por grandes diluciones, que se van disminuyendo hasta la aparición del sabor. Este ensayo no se realiza más que en aguas potables. (Winkler, 1994:58)

2. **Turbidez.** La turbidez de un agua se debe a la presencia de materias en suspensión finamente divididas; arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas. La determinación de la turbidez tiene un gran interés como parámetro de control en aguas contaminadas y residuales. Se puede evaluar en el campo o en el laboratorio.

3. **Materia sólida.** La materia sólida presente en un agua suele agruparse en tres categorías: materias decantables, materias en suspensión y residuos.

La materia decantable se determina dejando en reposo un litro de agua en un cono o probeta graduada. El resultado se expresa como mililitros de materia decantada por litro de agua.

La determinación de las materias en suspensión en el agua puede realizarse por filtración o por centrifugación. La filtración se realiza a vacío sobre un filtro. El filtro con el residuo es nuevamente secado y pesado. La diferencia entre este peso y el que teníamos antes del filtro solo, proporciona el valor de los sólidos. (Winkler, 1994:59)

4. **pH.** Las medidas de pH se realizan con un electrodo de vidrio, el cual genera un potencial que varía linealmente con el pH de la solución en la que está inmerso. El electrodo consiste en una celda con un potencial controlado por la actividad del protón a cada lado de una membrana de vidrio muy fina.

Este método se utiliza si se quiere obtener medidas muy precisas y puede aplicarse a cualquier caso particular. (Winkler, 1994:59)

5. **Dureza.** También llamada grado hidrotimétrico, la dureza corresponde a la suma de las concentraciones de cationes metálicos excepto los metales alcalinos y el ion hidrógeno. En la mayoría de los casos se debe principalmente a la presencia de iones calcio y magnesio, y algunas veces también se unen hierro, aluminio, manganeso y estroncio.

6. **Acidez y Alcalinidad.** La acidez de un agua corresponde a la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles.

La alcalinidad de un agua corresponde a la presencia de los bicarbonatos, carbonatos de hidróxidos.

La depuración de las aguas residuales es un proceso que persigue eliminar en la mayor cantidad posible la contaminación que lleva un vertido antes de que éste incida sobre un cauce receptor, de forma que los niveles de contaminación que queden en el efluente ya tratado puedan ser asimilados de forma natural. (Winkler, 1994:62)

E. Aguas residuales.

Las aguas residuales son aquellas que ya han sido usadas. En ellas se encuentran suspendidas ciertas sustancias procedentes del propio uso que se ha hecho del agua limpia.

Existen muchas razones por las que ello es una prioridad importante:

- Cuidar el hábitat de las especies.
- Calidad de vida y actividades recreativas.
- La salud.

Dentro del ciclo de aprovechamiento del agua en viviendas y fábricas, el control de la calidad de las aguas impone, sobre las comunidades organizadas, la obligación de buscar aguas naturales de calidad adecuada. Dentro del ciclo de evacuación, obliga a las ciudades, pueblos e industrias a retornar a la fuente de suministro común, los afluentes de aguas usadas y aguas residuales de calidad aceptable. (Fair, 1971:198)

1. Tipos de aguas residuales. La clasificación se hace con respecto a su origen, ya que éste es el que va a determinar su composición. (Fair, 1971:199)

a. Aguas residuales urbanas. Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos.

Los aportes que generan esta agua son:

- Aguas negras o fecales
- Aguas de lavado doméstico
- Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas
- Aguas de lluvia y lixiviados

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc. (Fair, 1971:199)

F. Operaciones unitarias de una planta de tratamiento de aguas residuales.

1. Tratamiento primario. Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación. (Metcalf & Eddy, 1995:314-320)
 - a. Rejillas. El diseñador es libre de escoger el tipo de rejillas, siempre y cuando se cumplan las recomendaciones mínimas de diseño.

Tipos:

 - Limpiadas manualmente.
 - Limpiadas mecánicamente.
 - En forma de canasta.
 - Retenedoras de fibra.
 - b. Localización. Las rejillas deben colocarse aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar. El canal de aproximación a la rejilla debe ser diseñado para prevenir la acumulación de arena u otro material pesado aguas arriba de ésta. Además, debe tener preferiblemente una dirección perpendicular a las barras de la rejilla. El sitio en que se encuentren las rejillas debe ser provisto con escaleras de acceso, iluminación y ventilación adecuada.
 - c. Espaciamiento. Se recomienda un espaciamiento entre las barras de la rejilla de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente, y entre 3 y 77 mm para rejillas limpiadas mecánicamente.
 - d. Velocidad mínima de aproximación. Para garantizar un área de acumulación adecuada, la velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente, entre 0.3 y 0.9 m/s para rejillas limpiadas mecánicamente.
 - e. Velocidad mínima entre barras. Se debe usar un rango de velocidades entre 0.3 y 0.6 m/s y entre 0.6 y 1.2 m/s para rejillas limpiadas de forma manual y mecánica respectivamente.
2. Trampa de grasas: La trampa de grasas es básicamente una estructura rectangular de funcionamiento hidráulico para flotación. El sistema se fundamenta en el método de

separación gravitacional, el cual aprovecha la baja velocidad del agua y la diferencia de densidades entre el agua y los hidrocarburos para realizar la separación, adicionalmente realiza, en menor grado, retenciones de sólidos. Normalmente consta de tres sectores separados por pantallas en concreto o mampostería. En la primera pantalla retiene el flujo, obligándolo a pasar por la parte baja y la segunda permite el paso del flujo vertedero lo que hace que se regule el paso y se presenten velocidades constantes y horizontales.

En el primer y segundo sector se realiza la mayor retención de sólidos, y en menor cantidad la retención de grasas y aceites debido a la turbulencia que presenta el agua; en la tercera se realiza la mayor acumulación de los elementos flotantes como grasas y aceites, los cuales pasan al desnatador conectado a dicha sección.

3. Homogenización de caudales. La homogenización consiste simplemente en amortiguar por laminación las variaciones del caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante o casi constante. Esta técnica puede aplicarse en situaciones diversas, dependiendo de las características de la red de alcantarillado. Las principales aplicaciones están concebidas para la homogenización de:

- Caudal en tiempo seco
- Caudales procedentes de redes de alcantarillado separativas en épocas lluviosas
- Caudales procedentes de redes de alcantarillado unitarias combinación de aguas pluviales y aguas residuales sanitarias

a. Aplicación de la homogeneización de caudales en el tratamiento del agua residual. En la disposición que recibe el nombre de «en línea», la totalidad del caudal pasa por el tanque de homogeneización. Este sistema permite reducir las concentraciones de los diferentes constituyentes y amortiguar los caudales de forma considerable. En la disposición «en derivación», sólo se hace pasar por el tanque de homogeneización el caudal que excede un límite prefijado. Aunque con este segundo sistema se minimizan las necesidades de bombeo, la reducción de la concentración de los diferentes constituyentes no es tan alta como con el primero.

Las principales ventajas que produce la homogeneización de los caudales son las siguientes:

- Mejora del tratamiento biológico, ya que eliminan o reducen las cargas de choque, se diluye las sustancias inhibitoras, y se consigue estabilizar el pH.
- Mejora de la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria al trabajar con cargas de sólidos constantes.
- Reducción de las superficies necesarias para la filtración del efluente, mejora de los rendimientos de los filtros y posibilidad de conseguir ciclos de lavado más uniformes.

- En el tratamiento químico, el amortiguamiento de las cargas aplicadas mejora el control de la dosificación de los reactivos y la fiabilidad del proceso.

Aparte de la mejora de la mayoría de las operaciones y procesos de tratamiento, la homogeneización del caudal es una opción alternativa para incrementar el rendimiento de las plantas de tratamiento que se encuentran sobrecargadas.

- b. Localización de las instalaciones de homogeneización. La ubicación óptima de las instalaciones de homogeneización debe determinarse para cada caso concreto. Dado que la localización óptima variará en función del tipo de tratamiento, de las características de la red de alcantarillado y de las del agua residual, es preciso llevar a cabo un estudio detallado de las diferentes posibilidades.

También es necesario considerar la integración de las instalaciones de homogeneización en el diagrama de flujo de los procesos de tratamiento. En ocasiones, puede resultar más interesante situar la homogeneización después del tratamiento primario y antes del biológico, pues así se reducen los problemas originados por el fango y las espumas. Si las instalaciones de homogeneización se sitúan por delante de la sedimentación primaria y del tratamiento biológico, el proyecto debe tener en cuenta la provisión de un grado de mezclado suficiente para prevenir la sedimentación de sólidos y las variaciones de concentración y dispositivos de aireación suficientes para evitar los problemas de olores.

4. Sedimentadores primarios. El objeto de este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Se recomienda utilizar el método de laboratorio por tandas para estimar la tasa de desbordamiento superficial necesaria, el tiempo de retención o profundidad del tanque y el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos.

Deben utilizarse las gráficas de porcentaje de remoción de DBO y sólidos suspendidos como función de la tasa de desbordamiento superficial y del tipo de clarificador que se tenga (circular o rectangular) en casos que el ingeniero considere necesario, se pueden adicionar coagulantes para incrementar la eficiencia de remoción de fósforo, sólidos suspendidos y DBO.

- a. Geometría. Las dimensiones del tanque están determinadas por la cantidad de aguas negras que se requiera tratar y debe diseñarse para el caudal máximo horario esperado. Para el caso de tanques rectangulares la relación longitud: ancho debe estar entre 1.5:1 y 2:1. Para el caso de tanques circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 60 m, una pendiente de fondo entre 6 y 17%. Los tanques cuadrados no se

recomiendan y los de forma hexagonal y ortogonal son considerados como si fueran circulares debido a que estos están dotados de un equipo rotatorio para remoción de los sólidos. Debe escogerse la mayor de las áreas calculadas, de acuerdo a las siguientes tasas de desbordamiento superficial mínimas recomendadas:

- Para caudal medio utilizar $33\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$,
- Para caudal pico sostenido por tres horas utilizar $57\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, y
- Para caudal pico utilizar $65\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

- b. Tiempo de retención. Debe basarse en el caudal de aguas negras y en el volumen del tanque. Se recomienda un período de retención mínimo de 1.0 hora tanto para los sedimentadores circulares como para los rectangulares.
- c. Profundidad. Para los tanques de sedimentación circulares se recomienda un rango de profundidades de 2.5 a 4 m. En el caso de tanques rectangulares se recomienda un rango de profundidades entre 2 y 5 m.
- d. Profundidad de almacenamiento de lodos. La profundidad depende del tipo de limpieza de lodos que se practique en la planta. Se recomienda una capa de lodos de 30 a 45 cm por motivos operacionales.

5. **Floculación.** El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

Los floculadores proporcionan a la masa de agua coagulada una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de agua y flóculos salga de la unidad. La energía que produce la agitación del agua puede ser de origen hidráulico o mecánico.

Entre los floculadores más conocidos se pueden citar, en primer lugar, las unidades de pantallas de flujo horizontal y vertical, medios porosos, tipo Alabama y Cox, los floculadores de mallas y floculadores mecánicos.

- a. Parámetros y recomendaciones generales de diseño. Los gradientes de velocidad que optimizan el proceso normalmente varían entre 70 y 20 s^{-1} . En todo caso, en el primer tramo de la unidad el gradiente no debe ser mayor que el que se está produciendo en la interconexión entre el mezclador y el floculador.
- b. El gradiente de velocidad debe variar en forma uniformemente decreciente desde que la masa de agua ingresa a la unidad hasta que sale.

- c. El tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos, dependiendo del tipo de unidad y de la temperatura del agua. En las zonas tropicales, donde las aguas presentan temperaturas por encima de los 20 °C, el tiempo de floculación necesario suele ser más breve, alrededor de 15 minutos. En cambio, en los lugares fríos, donde el agua tiene temperaturas de 10 a 15 °C, generalmente el proceso se optimiza con tiempos de retención iguales o superiores a 20 minutos.

6. **Mezclado.** El mezclado es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, entre las que podemos citar:

De calor.

- Mezcla completa de una sustancia con otra
- Mezcla de suspensiones líquidas
- Mezcla de líquidos miscibles
- Floculación
- Transferencia

a. Descripción y aplicación. La mayoría de las operaciones de mezclado relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales puede clasificarse en continuas y rápidas continuas (30 segundos o menos). Estas últimas suelen emplearse en los casos en los que debe mezclarse una sustancia con otra, mientras que las primeras tienen su aplicación en aquellos casos en los que debe mantenerse en suspensión el contenido del reactor o del depósito. En los siguientes apartados se analiza cada uno de estos tipos de mezclado.

b. Mezcla rápida continúa de productos químicos. En el proceso de mezcla rápida continua, el principal objetivo consiste en mezclar completamente una sustancia con otra. La mezcla rápida puede durar desde una fracción de segundo hasta alrededor de 30 segundos. La mezcla rápida de productos químicos se puede llevar a cabo mediante diversos sistemas, entre los que destacan:

- Dispositivos Venturi
- Conducciones
- Por bombeo
- Mediante mezcladores estáticos
- Mediante mezcladores mecánicos

En los cuatro primeros, el mezclado se consigue como consecuencia de las turbulencias que se crean en el régimen de flujo. En los mezcladores estáticos, las turbulencias se producen como consecuencia de la disipación de energía, mientras

que en los mezcladores mecánicos las turbulencias se consiguen mediante la aportación de energía con impulsores giratorios como las paletas, hélices y turbinas.

c. Mezcla continua en reactores y tanques de retención. En el proceso de mezcla continua, el principal objetivo consiste en mantener en un estado de mezcla completa el contenido del reactor o del tanque de retención. El mezclado continuo puede llevarse a cabo mediante diversos sistemas, entre los cuales se encuentran:

- Los mezcladores mecánicos
- Mecanismos neumáticos
- Mezcladores estáticos
- Por bombeo.

El mezclado mecánico se lleva a cabo mediante los mismos procedimientos y medios que el mezclado mecánico rápido continuo. El mezclado neumático comporta la inyección de gases, que constituye un factor importante en el diseño de los canales de aireación del tratamiento biológico del agua residual. Un canal con pantallas deflectoras es un tipo de mezclador estático que se emplea en el proceso de floculación.

d. Agitadores de paletas. Los agitadores de paletas suelen girar lentamente puesto que tienen una superficie grande de acción sobre el fluido. Los agitadores de paletas se emplean como elementos de floculación cuando deben añadirse al agua residual, o a los fangos, coagulantes como el sulfato férrico o de aluminio, o adyuvantes a la coagulación como los polielectrolitos y la cal.

La coagulación se promueve, mecánicamente, con una agitación moderada con palas girando a velocidades bajas. Esta acción se complementa, en ocasiones, con la disposición de unas hojas o láminas estáticas entre las palas giratorias para reducir el movimiento circular de la masa de agua y favorecer así el mezclado. El aumento del contacto entre partículas conduce a un incremento del tamaño del flóculo, pero una agitación demasiado vigorosa puede producir tensiones que destruyan los flóculos formando partículas de menor tamaño. Es importante controlar adecuadamente la agitación, de modo que los tamaños de los flóculos sean los adecuados y sedimenten rápidamente. La producción de un buen flóculo requiere generalmente un tiempo de detención de entre 10 y 30 minutos.

Los fabricantes de equipos han llevado a cabo numerosos estudios para obtener las configuraciones idóneas de las dimensiones de las paletas, separación entre ellas y velocidad de rotación. Se ha podido constatar que una velocidad lineal de,

aproximadamente, 0,6 a 0,9 m/s en los extremos de las paletas crea suficiente turbulencia sin romper los flóculos.

7. Procesos químicos unitarios. Los procesos empleados en el tratamiento de las aguas residuales en los que las transformaciones se producen mediante reacciones químicas reciben el nombre de procesos químicos unitarios. Con el fin de alcanzar los objetivos de tratamiento del agua residual, los procesos químicos unitarios se llevan a cabo en combinación con las operaciones físicas unitarias.

a. Precipitación química. La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por sedimentación. En algunos casos, la alteración es pequeña, y la eliminación se logra al quedar atrapados dentro de un precipitado voluminoso constituido, principalmente, por el propio coagulante

Otra consecuencia de la adición de productos químicos es el incremento neto en los constituyentes disueltos del agua residual. Los procesos químicos, junto con algunas de las operaciones físicas unitarias, se han desarrollado para proporcionar un tratamiento secundario completo a las aguas residuales no tratadas, incluyendo la eliminación del nitrógeno, del fósforo, o de ambos a la vez. También se han desarrollado otros procesos químicos para la eliminación del fósforo por precipitación química, y están pensados para su utilización en combinación con procesos de tratamiento biológicos.

A lo largo de los años, se han empleado muchas sustancias y de diversa naturaleza, como agentes de precipitación, las más comunes de las cuales se presentan en el cuadro 1. El grado de clarificación resultante depende tanto de la cantidad de productos químicos que se añade como del nivel de control de los procesos. Mediante precipitación química, es posible conseguir efluentes clarificados básicamente libres de materia en suspensión o en estado coloidal y se puede llegar a eliminar del 80 al 90 (%) de la materia total suspendida, entre el 40 y el 70 por 100 de la DBO₅, del 30 al 60 por 100 de la DQO y entre el 80 y el 90 por 100 de las bacterias. Estas cifras contrastan con los rendimientos de eliminación de los procesos de sedimentación simple, en los que la eliminación de la materia suspendida sólo alcanza valores del 50 al 70 por 100 y en la eliminación de la materia orgánica sólo se consigue entre el 30 y el 40 por 100.

Cuadro 1. Productos químicos empleados en el tratamiento del agua residual

Producto químico	Fórmula
Sulfato de alumina	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
Cloruro férrico	$FeCl_3$
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$ $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$
Sulfato ferroso (caparrosa)	$FeSO_4 \cdot 7 H_2O$
Cal	$Ca(OH)_2$

F. 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 DBO por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son anaeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. (Metcalf & Eddy, 1995:1005-1126)

1. Procesos de tratamiento anaeróbico. Diversos procesos de tratamiento anaeróbico se encuentran disponibles y son aplicados en función de las características del sustrato afluente y del control (manejo) del tiempo de retención de la biomasa. En la Ilustración 1 pueden observarse los procesos continuos anaeróbicos.

La separación de las fases en el tratamiento de desagües solubles complejos, puede parecer atractiva en la eliminación de compuestos tóxicos, en la remoción de nitratos y sulfatos o sulfitos. De esta forma, un reactor acidogénico puede ser utilizado por separado de un reactor metanogénico.

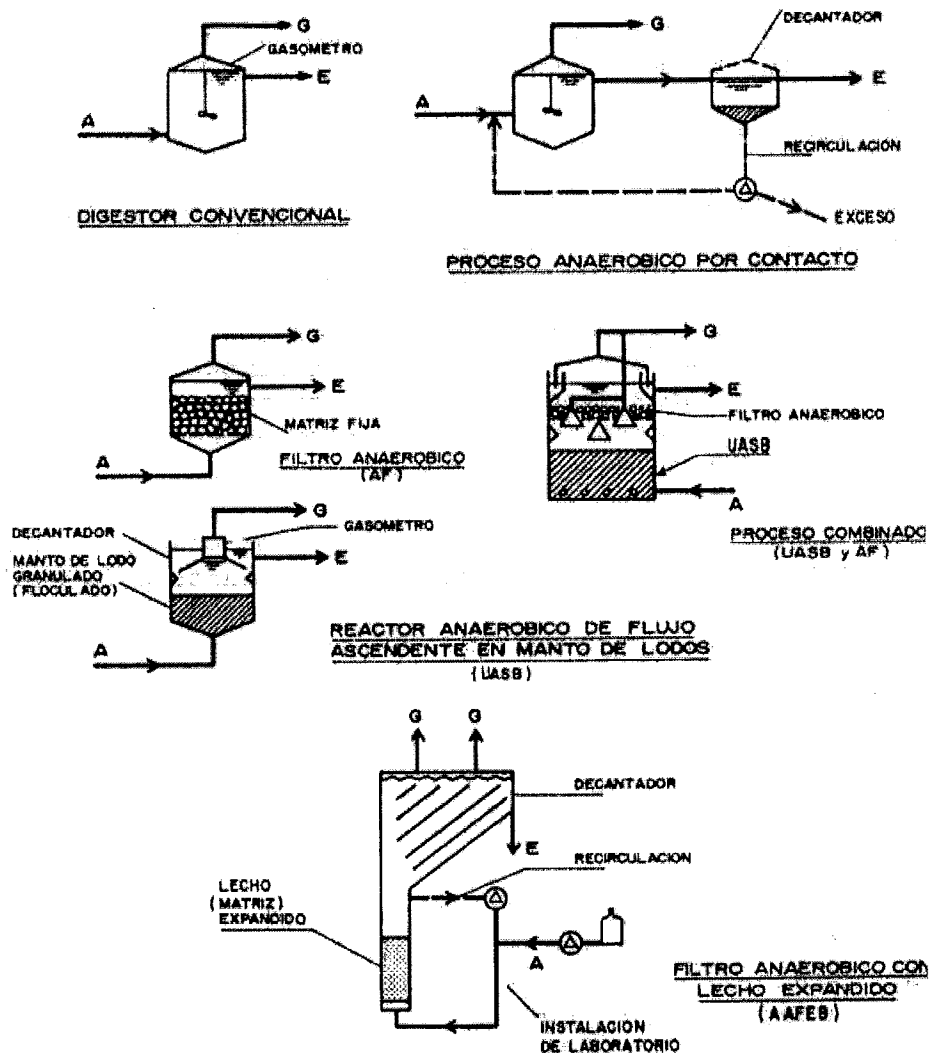
2. Reactores de flujo ascendente. El proceso anaeróbico de flujo ascendente consiste básicamente de un tanque Imhoff, "al revés", presentando las cámaras de decantación y digestión anaeróbica superpuestas. Las principales condiciones que se deberán encontrar en estos reactores son:

- Una efectiva separación del biogás, del desagüe y del lodo.

- El lodo anaeróbico debe presentar una buena capacidad de sedimentación y principalmente, se debe desarrollar como un lodo granular.
- El desagüe debe ser introducido en la parte inferior del reactor.

Uno de los aspectos más importantes de los reactores, arriba destacados, es, con toda seguridad, su capacidad de producir el gránulo típico del lodo anaeróbico. Este lodo presenta una alta actividad específica (1.0 g DQO/g SSV.día). Además de estos aspectos se debe citar la velocidad de sedimentación que varía de 2 a 90 m/h en sistemas no "cargados". De todas formas, el lodo granulado, con una velocidad de sedimentación de 40 m/h, puede flotar en cargas muy altas. Se pueden desarrollar diferentes tipos (formas) de lodo granular, tales como bastón, filamentosos y "con puntas" y esto depende de varios aspectos como son la composición del sustrato y la naturaleza de la puesta en marcha.

Ilustración 1. Procesos continuos de tratamiento anaeróbico



3. Reactor anaerobio de flujo ascendente UASB (up flow anaerobic sludge blanket).

El aumento de conciencia de que el tratamiento de efluentes es de vital importancia para evitar la contaminación ambiental, resultó en la necesidad de desarrollar procesos que combinen una alta eficiencia de tratamiento con bajos costos de construcción y mantenimiento.

El concepto de reactor UASB fue desarrollado en los años 70 por Lettinga y colaboradores y es ahora aplicado mundialmente para el tratamiento de efluentes cloacales en países de clima tropical. En climas templados y subtropicales no ha sido utilizado, principalmente por limitaciones de temperatura, la cual afecta la tasa de hidrólisis del material particulado y reduce la eficiencia del tratamiento. La característica principal de un reactor UASB, además del flujo ascendente, es la formación de un manto de lodo floculento o granular con buena capacidad de sedimentación, en donde se realiza la actividad biológica. La granulación es un proceso que ha sido citado en pocas oportunidades durante el tratamiento de líquidos cloacales.

A temperaturas moderadas, la presencia de sólidos en suspensión constituye un inconveniente para el tratamiento anaeróbico. Para superar este inconveniente, se han propuesto sistemas anaeróbicos en dos etapas. En la primera etapa se retienen e hidrolizan parcialmente los sólidos y en la segunda se degradan los compuestos solubles presentes en el líquido, y aquellos generados durante la primera etapa.

El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) es uno de los parámetros más importantes en todo sistema de tratamiento de aguas residuales. En el caso de los líquidos residuales, donde la presencia de sólidos en suspensión es considerable, existe un tiempo de retención óptimo que permite una máxima remoción de sólidos y materia orgánica expresada como Demanda Química de Oxígeno (DQO).

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la protección de los ríos, lagos y mantos acuíferos, son de vital importancia por ser estos recursos, escasos e insustituibles, además la conservación de los recursos naturales, nos asegura un mejor sostenimiento del medio ambiente, evitando así la degradación del mismo.

Por otro lado, el consumo de agua en las plantas alimenticias, se ha incrementado considerablemente debido al aumento de su producción, por lo que también repercute en el incremento de los volúmenes de aguas residuales contaminadas, que se descargan en los ríos y lagos.

Se ha observado también que, en la actualidad, muchas plantas procesadoras de alimentos específicamente de carnes, no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales, ni mucho menos con una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que en ocasiones, se piensa que el costo económico es muy alto.

Es por esta razón que es de suma urgencia, que las industrias alimenticias implementen lo antes posible, sistemas y plantas de tratamiento de aguas residuales. Por la cual se busca brindarle a las industrias guatemaltecas de carne, el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, que se adecue al tipo de desechos que estas producen en el efluente, teniendo en cuenta tecnologías modernas, que no necesariamente tengan un costo económico elevado.

IV OBJETIVOS

A. General

1. Elaborar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una industria cárnica que más se adecue al tipo de desechos que ésta produce.

B. Específicos

1. Desarrollar un estudio para conocer los diferentes tipos de residuos que puedan existir en un efluente de la industria cárnica alimenticia.
2. Investigar sobre los diferentes tipos de tecnologías que son adecuados para el tratamiento de aguas residuales en una industria cárnica.
3. Elegir el sistema adecuado para tratamiento de aguas residuales para una industria cárnica.
4. Diseñar de la planta de tratamiento de aguas residuales para una industria cárnica en función de sus residuos.

V PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente en la planta industrial donde se llevó acabo el estudio, no existe una planta de tratamiento de aguas residuales.

VI METODOLOGÍA

A. Estudio de las condiciones.

1. Condiciones de flujo y características de las aguas residuales de la planta donde se realizara el estudio.
2. Clasificación de desechos de la planta.
3. Trabajo de campo

B. Estudios de leyes y normativas para aguas residuales.

1. Revisión de las reglamentaciones existentes.

C. Revisión de métodos de tratamiento de aguas residuales.

1. Evaluación de tecnologías para tratamiento de aguas residuales.
2. Búsqueda en Internet sobre nuevas tecnologías para el proceso.

D. Diseño del proceso.

E. Diseño del equipo.

F. Evaluación económica.

VII. RESULTADOS

A. Dimensiones del tratamiento primario

1. Cribado

- Barrotes No. 2 (1/4") de acero inoxidable 316
- Ancho de barrotes 6.35 mm (1/4")
- Separación libre entre barrotes 15.0 mm
- Pendiente de la rejilla respecto al fondo del canal 45°
- Ancho del canal: 0.30 m
- Altura del canal: 0.20 m
- Pérdida de carga por el paso a través de las rejillas: 0.08 m (8.0 X10⁻⁵ J / kg)

2. Tanque regulador de caudal

- Volumen del tanque regulador de caudal con un factor de seguridad de diseño del 10 % por volumen de construcción interna y elementos de aireación 168.0 m³
- Dimensiones del tanque regulador:
 - Largo: 8.5 m
 - Ancho: 6.6 m
 - Profundidad: 3.0 m
- Caudal regulado 18.0 m³/h
- Potencia necesaria para aeración mecánica del regulador de caudal 110.16 Kw (147.7 hp)
- Materiales de construcción y detalles ver plano de construcción en apéndice (Pág. 33)

3. Trampa de aceites grasas y materia flotante

- Volumen efectivo de la trampa de grasas 18.0 m³
- Volumen total de la trampa de grasa con un factor de seguridad de diseño del 10 % por volumen de construcción de tres cortinas de concreto 20.0 m³
- Dimensiones de la trampa de grasas:
 - Largo: 4.45 m
 - Ancho: 2.25 m
 - Profundidad: 2.0 m
- Materiales de construcción y detalles ver plano de construcción en apéndice (Pág. 34)
- Tiempo de retención en la trampa 0.5 h.

4. Tanque de floculación

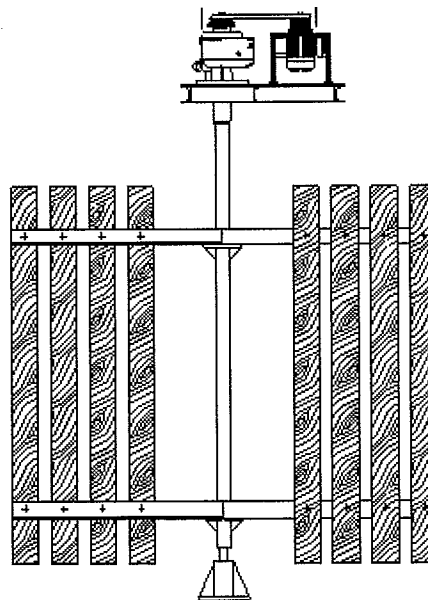
- Volumen efectivo del floculador 18.0 m^3
Volumen total del floculador con un factor de seguridad de diseño del 15 % por volumen del agitador de paletas y otros elementos 21.0 m^3
- Dimensiones del floculador:

Largo:	4.0 m
Ancho:	2.7 m
Profundidad:	2.0 m

- Potencia requerida 159.31 W
- Área útil total de las paletas rectangulares 1.95 m^2
- Número de paletas para la agitación: 4 paletas
- Dimensiones de la paleta: largo 3.0 m, ancho 0.16 m
- Tiempo de residencia 0.5 h
- rpm recomendadas para el agitador de paletas [60 a 140 rpm]

Materiales de construcción y detalles del tanque de floculación ver plano de construcción en apéndice (Pág. 35)

Ilustración 2: Diseño del agitador de paletas a utilizar en tanque de floculación



4. Sedimentador primario

- Volumen efectivo del sedimentador rectangular 72.0 m³
- Dimensiones del tanque sedimentador:

Largo:	6.0 m
Ancho:	4.0 m
Profundidad:	3.0 m
- Tiempo de retención 2.0 h
- Producción de lodos en el sedimentador 340.0 kg/d
- Materiales de construcción y detalles ver plano de construcción en apéndice (Pág. 36)

5. Tanque de igualación (homogenización)

- Volumen total del tanque 19.0 m³
- Tiempo de retención 0.5 h
- Dimensiones del tanque:

Largo:	3.5 m
Ancho:	2.75 m
Profundidad:	2.0 m

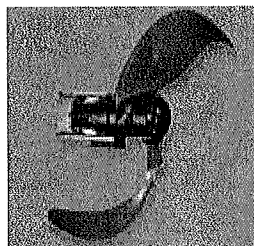
Materiales de construcción y detalles ver plano de construcción en apéndice (Pág. 37)

Modelo del agitador a utilizar en el tanque de igualación.

Agitadores Flygt" tipo Banana", de alta eficiencia. **Serie 4410**

Núm. de agitadores:	2
Frecuencia:	50 Hz
Velocidad media:	0.32 m/s
Empuje preciso	130 N
Empuje nominal:	450-2410 N
Potencia en el eje:	2.3 kW
Potencia:	3.1 kW
Núm. de polos:	4
Velocidad de la hélice:	25-45 rpm
Diámetro de la hélice:	1.4-2.5 m
Peso:	215 kg

Ilustración 3: Modelo del rodete Flygt serie 4410 a utilizar en el tanque de igualación



B. Dimensiones del tratamiento secundario

1. Parámetros recomendados para la compra del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) también llamado UASB (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket)

- Volumen líquido total necesario del reactor 335.0 m^3
- Dimensiones del reactor:
 - Diámetro: 8.0 m
 - Altura total: 9.5 m
- Altura del colector de gas 2.5 m
- Tiempo de retención hidráulica del reactor 10.0 h
- Producción de gas metano $723.5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}$
- Energía producida por la producción de gas metano $23.8 \times 10^6 \text{ kJ/d}$

Materiales de construcción y detalles ver plano de construcción en apéndice (Pág. 38)

2. Tanque de sedimentación secundaria

- Tipo de sedimentador circular
- volumen efectivo del sedimentador secundario 108.0 m^3
- Dimensiones del sedimentador:

Diámetro: 6.8 m
 Altura total: 3.0 m

- Tiempo de residencia en el sedimentador 3.0 h

Materiales de construcción y detalles ver plano de construcción en apéndice (Pág. 39)

3. Tanque para almacenamiento de lodos

- Volumen del tanque de almacenamiento 18.0 m^3
- Dimensiones del tanque de almacenamiento de lodos:

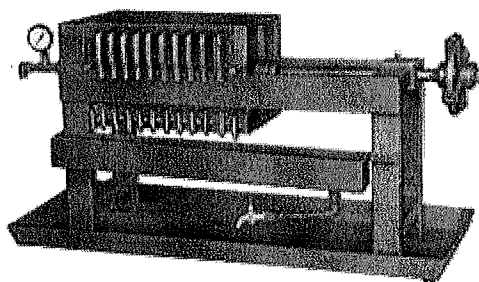
Largo: 3.6 m
 Ancho: 2.5 m
 Profundidad: 2.0 m

Materiales de construcción y detalles ver plano de construcción en apéndice (Pág. 40)

4. Filtro prensa

- Máxima área efectiva por cámara 0.5 m²
- Grosor de torta del filtrado, 2" (0.0508 m)
- Plato y marco de hierro fundido gris con grafito
- Número de platos, 12 platos, (11 cámaras)
- Filtro tipo 200 de descarga cerrada
- Presión máxima de operación 690.0 kPa
- Se recomienda lona como medio filtrante.

Ilustración 4: Modelo del filtro prensa tipo 200 de descarga cerrada.



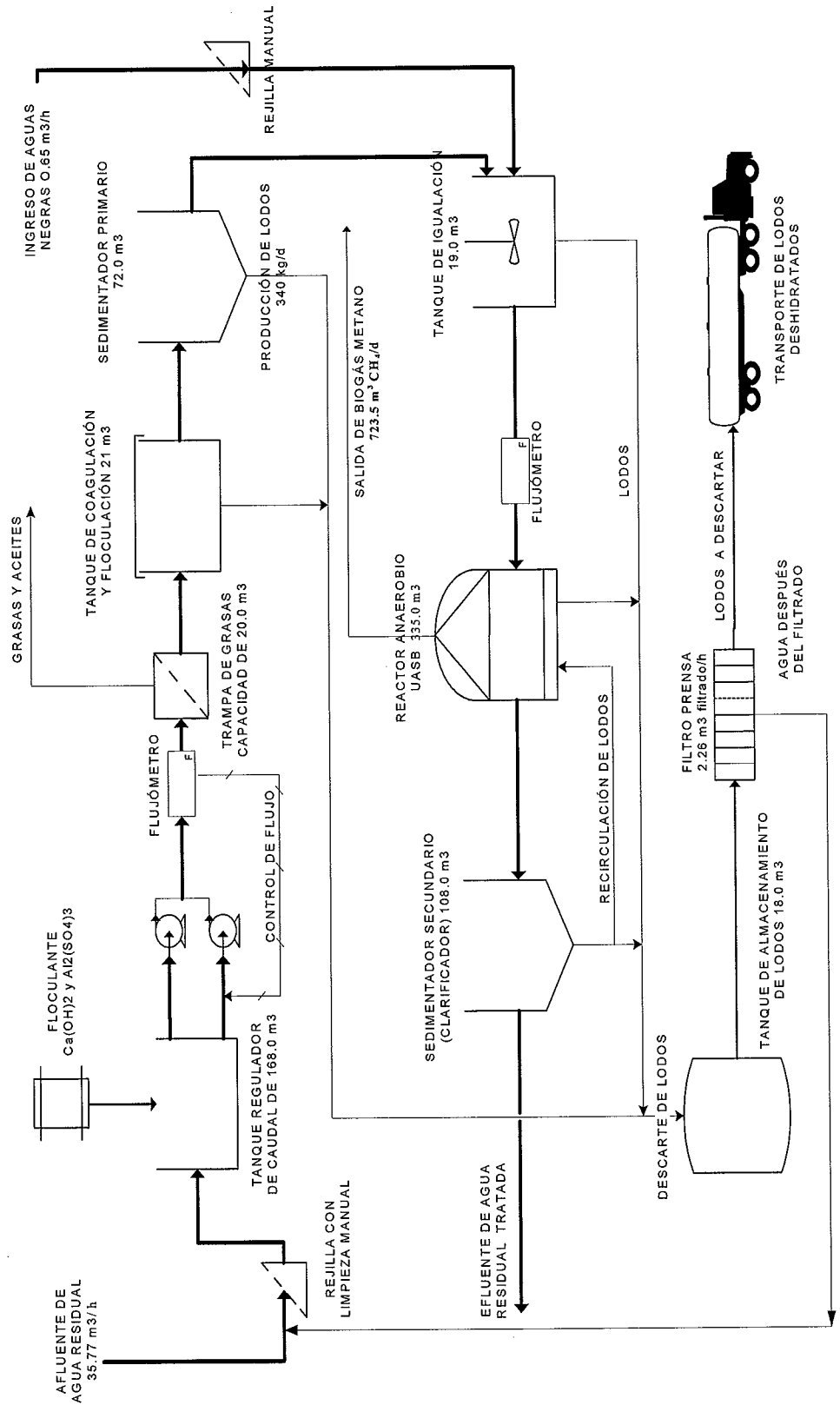
C. Costos de la planta

1. Costos

- Costos de construcción de la planta, Q 1,117,200.00
- Costos mensuales del personal de operación y mantenimiento, Q 18,585.39
- Gastos mensuales de mantenimiento de maquinas, Q 5,400.00
- Otros gastos incurridos por mes (Coagulantes y pruebas de laboratorio) Q 3,200.00

D. Diagramas de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales

Ilustración 5. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales



E. Proyección de cargas de contaminantes a 15 años de operación de la planta

Cuadro 2. Proyección de cargas contaminantes a futuro

Año	Volumen m ³ /d	Incremento Anual en Producción 5 %									
		* DQO Kg/d	*** DBO Kg/d	Grasas Kg/d	**** SST Kg/d	Sólidos sedimentables Kg/d	Sólidos gruesos Kg/d	Nitrógeno total Kg/d	Fósforo total Kg/d		
0	393.0	915.8	725.4	22.4	331.0	4.9	91.0	23.5	8.5		
1	412.7	961.6	761.7	23.5	347.6	5.2	95.6	24.7	9.0		
2	433.3	1009.7	799.8	24.7	364.9	5.4	100.3	25.9	9.4		
3	454.9	1060.2	839.7	25.9	383.2	5.7	105.3	27.2	9.9		
4	477.7	1113.2	881.7	27.2	402.3	6.0	110.6	28.6	10.4		
5	501.6	1168.9	925.8	28.6	422.4	6.3	116.1	30.0	10.9		
6	526.7	1227.3	972.1	30.0	443.6	6.6	121.9	31.5	11.4		
7	553.0	1288.7	1020.7	31.5	465.8	6.9	128.0	33.1	12.0		
8	580.6	1353.1	1071.7	33.1	489.0	7.3	134.4	34.8	12.6		
9	609.7	1420.8	1125.3	34.7	513.5	7.6	141.2	36.5	13.2		
10	640.2	1491.8	1181.6	36.4	539.2	8.0	148.2	38.3	13.9		
11	672.2	1566.4	1240.7	38.3	566.1	8.4	155.6	40.2	14.6		
12	705.8	1644.7	1302.7	40.2	594.4	8.8	163.4	42.3	15.3		
13	741.1	1727.0	1367.8	42.2	624.1	9.3	171.6	44.4	16.1		
14	778.1	1813.3	1436.2	44.3	655.4	9.7	180.2	46.6	16.9		
15	817.0	1904.0	1508.1	46.5	688.1	10.2	189.2	48.9	17.8		

Nota: No se contempló las aguas pluviales en el diseño de la planta.

* DQO: Demanda química de oxígeno.

** DBO: Demanda biológica de oxígeno.

***SST: Sólidos suspendidos totales.

Cuadro 3. Descripción de costos de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales proyectada a 15 años.

Proceso	m ² de construcción	Costo de construcción (Q)	Equipo	Costo de equipo (Q)	Accesorios	Costo accesorios (Q)	Costo total (Q)
Cribado	10	11,000.00	Barrotes	800.00			11,800.00
Tanque regulador de caudal	190	209,000.00	Bombas de llenado y descarga, reguladores de caudal	20,000.00	Tuberías y otros	5,500.00	234,500.00
Trampa de grasas y aceites	45	49,500.00	Bombas de llenado y descarga	16,000.00	Tuberías y otros	3,500.00	69,000.00
Tanque de floculación	50	55,000.00	Bombas de llenado y descarga, agitadores, coagulantes	20,500.00	Tuberías y otros	5,750.00	81,250.00
Sedimentador primario	108	118,800.00	Bombas de llenado y descarga	20,000.00	Tuberías y otros	4,600.00	143,400.00
Tanque de igualación	45	49,500.00	Bombas y dosificadores	17,250.00	Tuberías y otros	6,500.00	73,250.00
Reactor anaeróbico tipo UASB	340 m ³	220,000.00	Bombas y controladores de caudal	28,600.00	Instalación	25,000.00	273,600.00
Sedimentador secundario	65	71,500.00	Bombas de llenado y descarga	14,300.00	Tuberías y otros	4,600.00	90,400.00
Tanque de almacenamiento de lodos	45	49,500.00	Bombas de descarga y redistribución	12,500.00	Tuberías y otros	2,500.00	64,500.00
Filtro prensa	4	4,400.00	Filtro prensa	65,500.00	Instalación	5,600.00	75,500.00
COSTOS TOTALES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESPECTO A LA CONSTRUCCIÓN							1,117,200.00

Cuadro 4. Costos de salarios por mes del personal de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales

PUESTO	SUELDO BASE (Q)	IGSS (Q)	IRTRA (Q)	INTECAP (Q)	AGUINALDO (Q)	BONO 14 (Q)	PASIVO (Q)	OTROS (Q)	TOTAL PRESTACIONES (Q)	BONIFICACIÓN (Q)	TOTAL (Q)
Operador 1	2,000.00	213.40	20.00	20.00	166.67	166.67	166.67	166.67	920.07	250.50	3,170.57
Operador 2	2,000.00	213.40	20.00	20.00	166.67	166.67	166.67	166.67	920.07	250.50	3,170.57
Ayudante 1	1,400.00	149.38	14.00	14.00	116.67	116.67	116.67	116.67	644.05	250.50	2,294.55
Ayudante 2	1,400.00	149.38	14.00	14.00	116.67	116.67	116.67	116.67	644.05	250.50	2,294.55
Ayudante 3	1,400.00	149.38	14.00	14.00	116.67	116.67	116.67	116.67	644.05	250.50	2,294.55
Encargado general	3,500.00	373.45	35.00	35.00	291.67	291.67	291.67	291.67	1,610.12	250.50	5,360.62
TOTAL	11,700.00	1,248.39	117.00	117.00	975.00	975.00	975.00	975.00	5,382.39	1,503.00	18,585.39

Cuadro 5. Resumen de costos

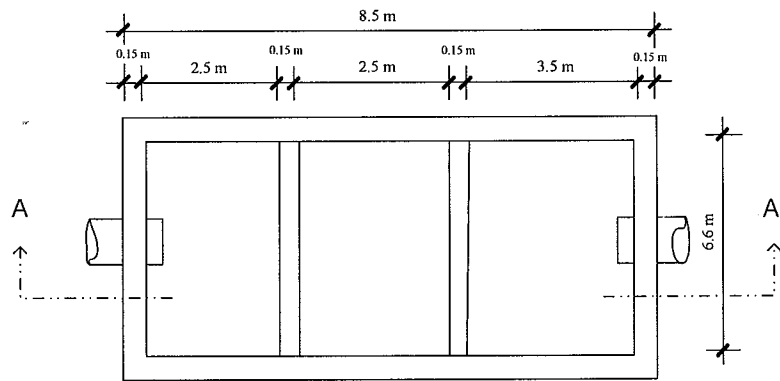
Descripción	Monto (Q)
Costos de construcción	1,117,200.00
Costo mensual del personal de operación y mantenimiento	18,585.39
Gastos mensuales de mantenimiento de máquinas	5,400.00
Otros gastos incurridos	3,200.00

Cuadro 6. Porcentajes utilizados para el cálculo de salarios y prestaciones

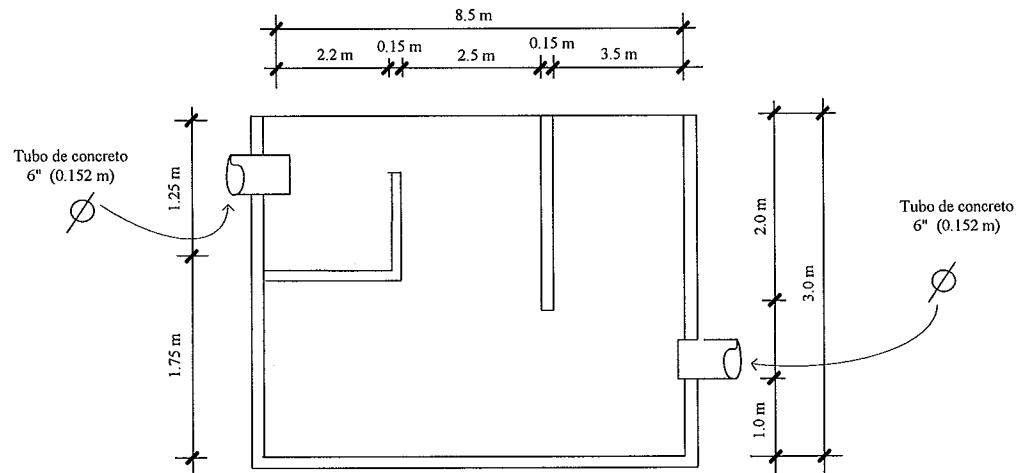
PRESTACIÓN	PORCENTAJE
IGSS	10.67 %
IRTRA	1.00 %
INTECAP	1.00 %
Aguinaldo	8.33 %
Bono 14	8.33 %
Pasivo	8.33 %
Otros	8.33 %
TOTAL	46.00 %

D. Planos de construcción de las diferentes unidades de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Detalle de construcción del tanque regulador de caudal



Planta



Sección A-A'

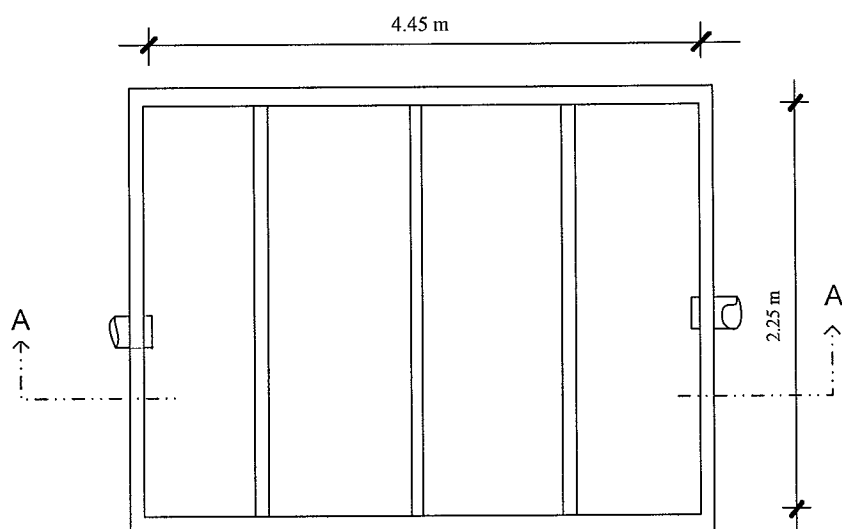
Material de construcción:

Hormigón reforzado con hierro negro No. 3

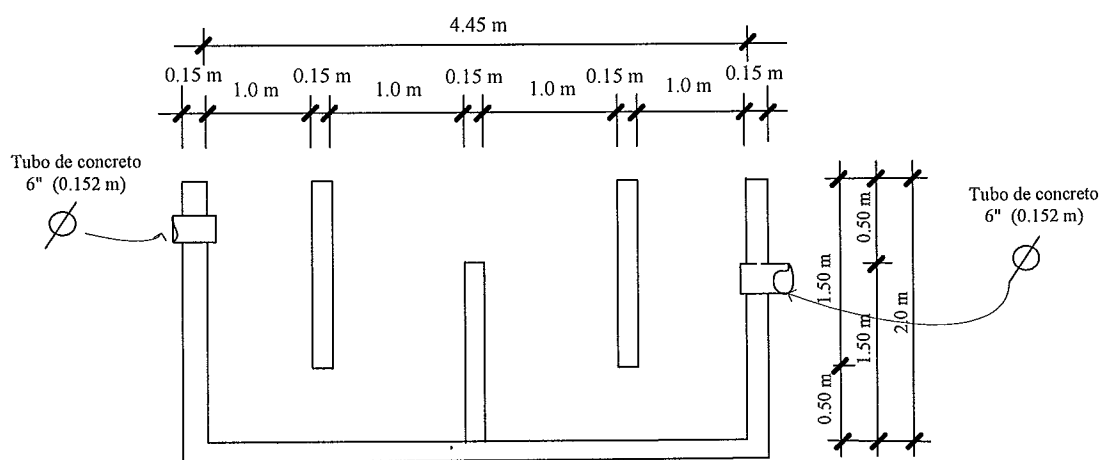
Revestimiento de muros con cemento e impermeabilizante para evitar hongos en las paredes

Sin escala

Detalle de construcción de la trampa de grasas



Planta



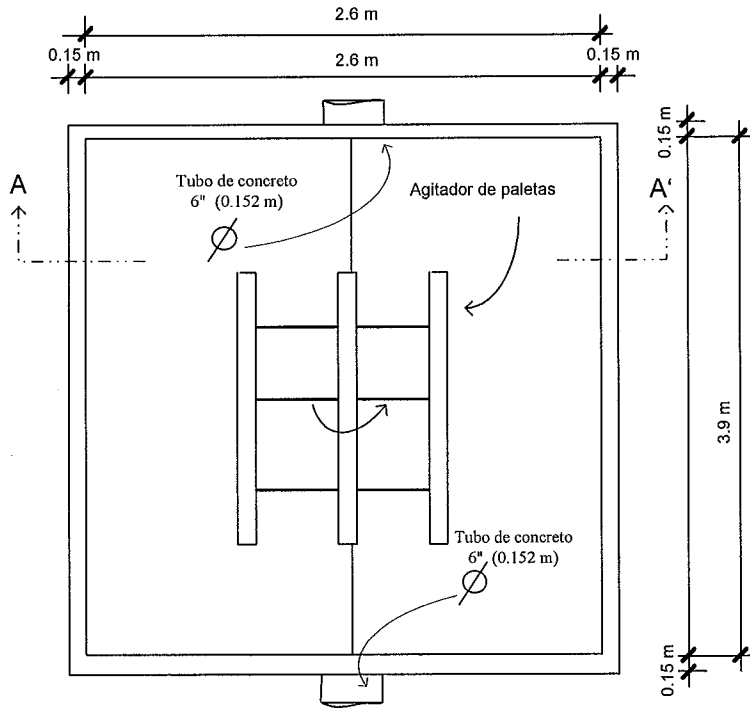
Sección A-A'

Material de construcción:

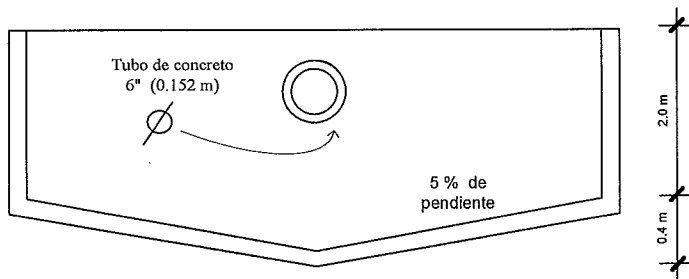
Hormigón reforzado con hierro negro No. 3

Revestimiento de muros con cemento e impermeabilizante para evitar hongos en las paredes

Detalle de construcción del tanque de floculación



Planta

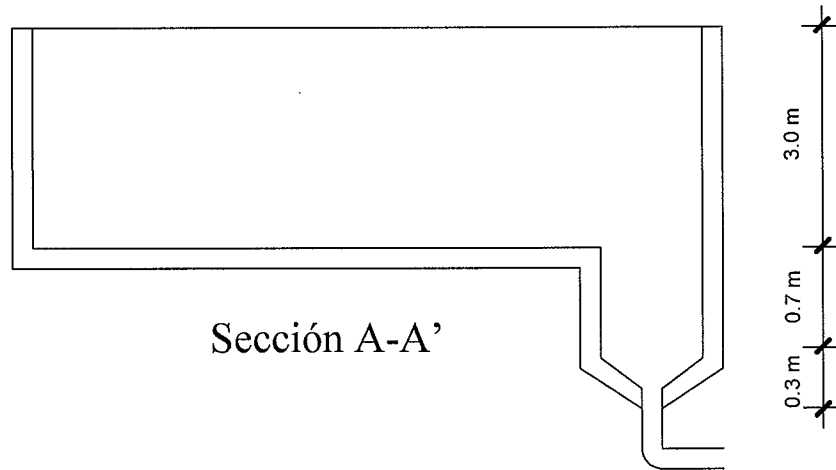
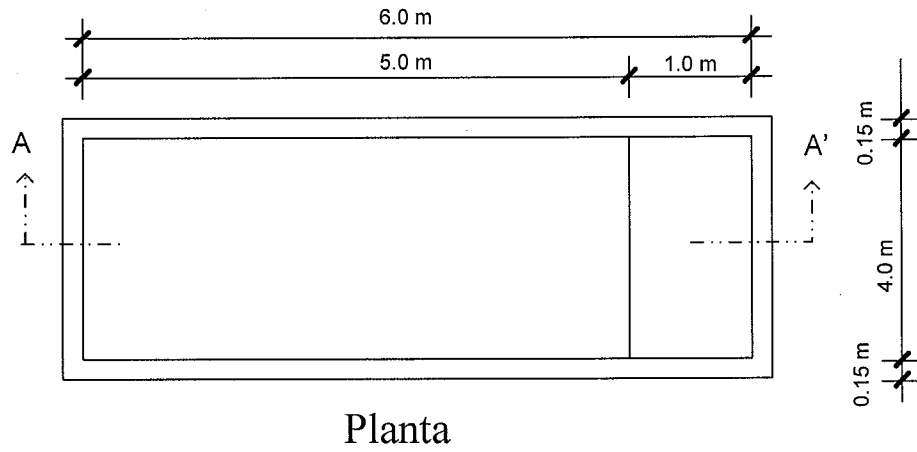


Sección A' - A

Sin escala

Material de construcción:
 Hormigón reforzado con hierro negro No. 3
 Revestimiento de muros con cemento e impermeabilizante para evitar hongos en las paredes

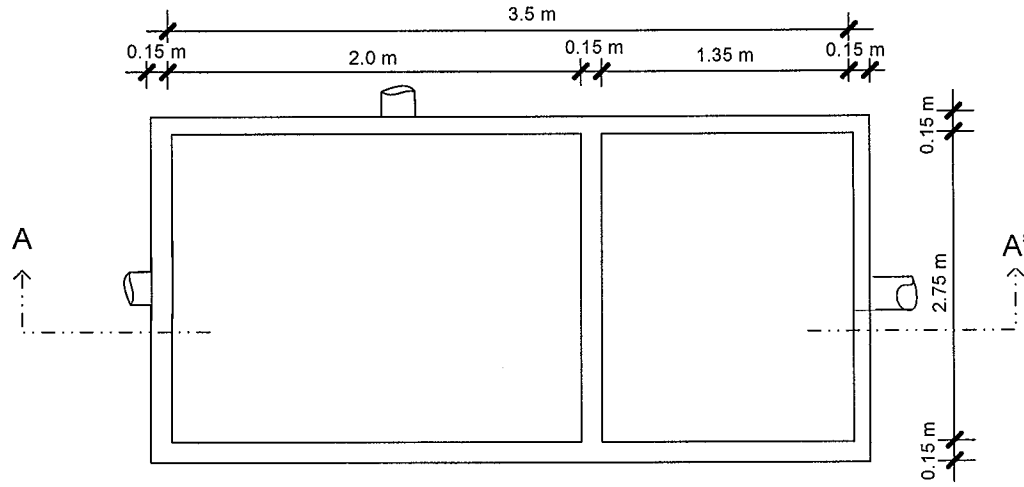
Detalles de construcción del sedimentador rectangular primario



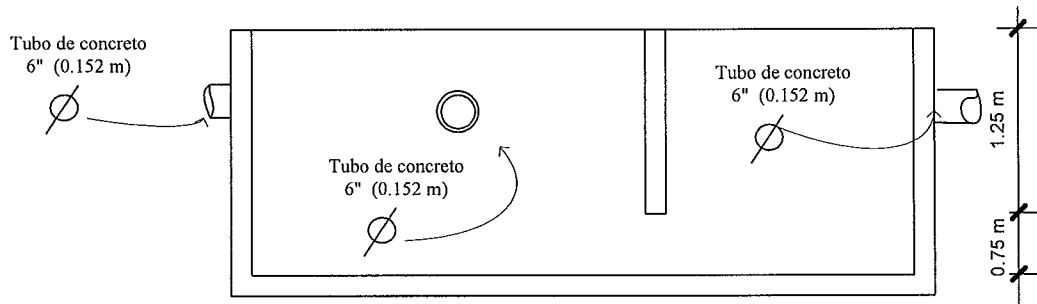
Material de construcción:
 Hormigón reforzado con hierro negro No. 3
 Revestimiento de muros con cemento e impermeabilizante para evitar hongos en las paredes

Sin escala

Detalle de construcción del tanque de homogenización



Planta

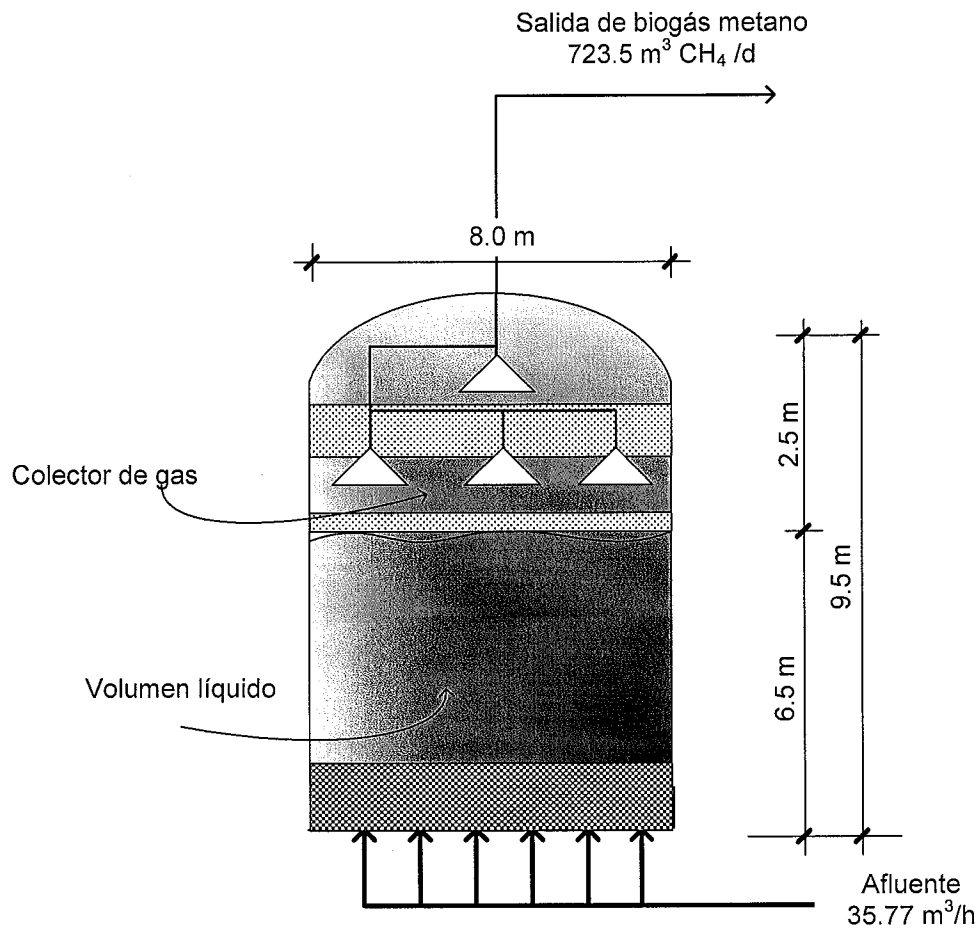


Sección A-A'

Sin escala

Material de construcción:
Hormigón reforzado con hierro negro No. 3
Revestimiento de muros con cemento e impermeabilizante para evitar hongos en las paredes

Especificaciones para la compra del reactor UASB (Up flow anaerobic sludge blanket)



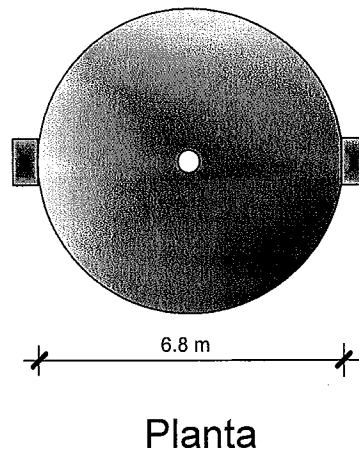
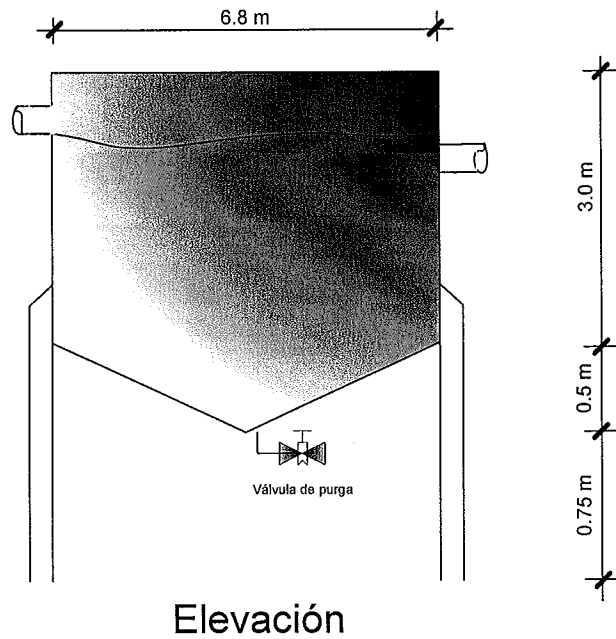
Sin escala

~~Nota:~~ Para la construcción del reactor UASB, se contratarán los servicios de una

Nota: Para la construcción del reactor UASB, se contratará los servicios de una empresa especializada en el ensamblaje de este tipo de reactores. Por lo que los materiales de construcción quedan a discreción de la empresa que realizará la construcción del mismo.

En este plano sólo se especifican las dimensiones del reactor para su compra.

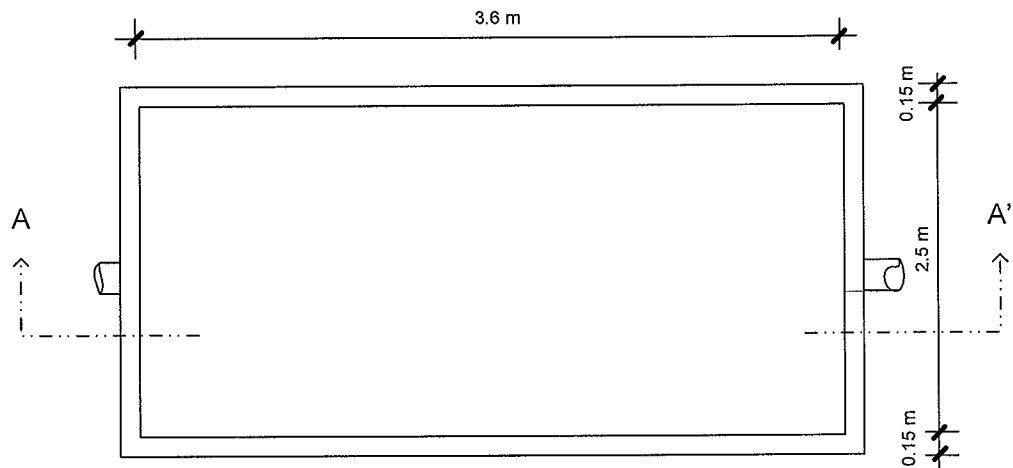
Detalles de construcción del sedimentador secundario



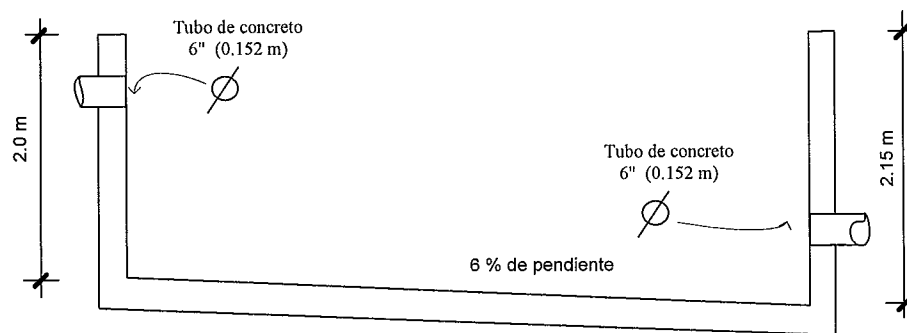
Materiales de construcción:
Tanque metálico cilíndrico fabricado con láminas calibre 8 (4.0 mm) de acero 316, corrugadas y galvanizadas por inmersión en caliente y unidas con pernos de alta resistencia.

Sin escala

Detalle de construcción del tanque de almacenamiento de lodos



Planta



Sección A-A'

Material de construcción:
 Hormigón reforzado con hierro negro No. 3
 Revestimiento de muros con cemento e impermeabilizante para evitar hongos en las paredes

Sin escala

VIII. DISCUSIÓN

Previo al diseño del tratamiento de aguas residuales, se realizó un análisis de la calidad y cantidad de contaminantes que posee los afluentes en cada proceso, que actualmente se realizan en la empresa de alimentos donde se desea construir la planta de tratamiento de aguas residuales. Estos resultados se compararon con los exigidos por el Decreto 2066-2005 (ver cuadro 15 en apéndice Pág. 77)

Basándose en este análisis se decidió el tipo de tratamiento apropiado para que el efluente final de la planta de alimentos cumpla con los parámetros establecidos por la legislación.

Es importante conocer que actualmente en la empresa se realizan cuatro procesos distintos. Además los afluentes producidos en cada proceso desembocan en lugares diferentes por lo que es necesario que todos los afluentes provenientes de estos procesos puedan converger un mismo punto y desde éste poder empezar a tratar el agua residual como un solo afluente.

Para el diseño de la planta de aguas residuales se realizó una proyección de carga de contaminantes a futuro de 15 años (tiempo de vida útil del diseño) a partir de los resultados obtenidos en los análisis de aguas. Para este cálculo se asumió que la concentración de aguas residuales en cada proceso de producción permanece constante, y que el aumento de producción del 5 % anual, traerá consigo sólo un aumento proporcional en el flujo de agua residual (ver cuadro 2 en resultados Pág. 28) Es importante mencionar que los parámetros de diseño como caudal y carga de contaminantes están basados en que los productos elaborados en el futuro por parte de la empresa serán los mismos que se producen actualmente. No contempla, por ejemplo, la manufactura de nuevos productos con cargas de contaminantes diferentes.

El diseño de la planta de tratamiento no incluye el tratamiento de agua de lluvia, más sí está contemplado en el diseño de la planta el tratamiento de las aguas del comedor y las aguas negras. Otro análisis importante realizado fue la relación DBO_5/DQO para los afluentes de cada uno de los procesos que actualmente se realizan en la planta, obteniendo como promedio de los cuatro procesos una relación DBO_5/DQO de 0.72 que indica que el afluente puede ser tratado por métodos biológicos para la degradación de la materia orgánica.

Con los análisis discutidos anteriormente, se diseñó el mejor proceso en función de variables como el tipo de contaminantes en el agua, espacio disponible para la construcción de la planta, así como el costo económico.

Por todo lo anterior se propone las siguientes unidades de proceso para tener una eficiencia de 95 % de remoción de la materia orgánica biodegradable.

A. Operación de cribado

Este proceso tendrá como función eliminar sólidos de gran tamaño que puedan dañar las bombas. Este sistema de cribado tendrá una limpieza manual debido al bajo costo de éste y porque en los análisis de aguas no se encontró sólidos de gran tamaño que puedan obstruir fácilmente la rejilla.

La rejilla contará con un ancho de canal de 0.30 m y con una altura de 0.20 m con barrotes de acero inoxidable de 0.0635 m (1/4"). Además la rejilla tendrá una inclinación de 45° respecto al fondo del canal para que la limpieza manual sea más sencilla.

B. Tanque de balance

La función principal de este tanque es amortiguar las variaciones en el flujo y concentración de contaminantes de las aguas residuales en las horas pico. Además este tanque debe proporcionar un caudal constante para todo el resto del proceso. El tanque será agitado con aire para evitar la aparición de malos olores que pueden ser molestos para la planta y los alrededores de ésta.

El tanque tendrá un volumen útil de 153.0 m³ con un caudal regulado de 18.0 m³/h que puede ser ampliado dependiendo de la producción de la planta, ya que el volumen diseñado puede soportar picos de flujo más altos a los encontrados en un día normal de trabajo debido a que se aplicó un factor de seguridad de 1.2 por variaciones fuertes de flujo y se tomó en cuenta el aumento en la producción de la planta de un 5 %.

Durante el estudio de los caudales producidos en la empresa, se encontró que el caudal promedio producido por los cuatro procesos fue de 14.30 m³/h.

Tomando en cuenta que el proyecto tendrá una vida de 15 años se decidió tomar un caudal de diseño de 35.77 m³/h que es 2.5 veces más que el caudal promedio. Con este caudal se estima que en 15 años el volumen total por día de agua residual generado será de 858.48 m³ que es 5 % más que el generado por el volumen actual de 393 m³/d, ya que este último proyectado a 15 años con un crecimiento del 5 % será de 817.0 m³.

Con el caudal de diseño ya establecido, se realizaron los cálculos de las siguientes operaciones de tratamiento de aguas residual teniendo en cuenta que las dimensiones de cada operación tienen una vida útil de 15 años.

C. Trampa de grasas

Luego del tanque de balance se colocará una trampa para grasas y material flotante con un tiempo de residencia de 0.5 h, tiempo necesario para que se separen las grasas y aceites del agua. Esta trampa tendrá un volumen útil de 18 m³ con una frecuencia de limpieza de dos veces por semana como mínimo.

D. Tanque de coagulación

Se instalará un tanque agitado mecánicamente de paletas, en el cual se promoverá la coagulación y floculación. Para lograr esto se utilizará cal y sulfato de aluminio para estabilizar el pH de las aguas residuales industriales. El tanque de coagulación tendrá un volumen útil de 18 m³ con un tiempo de residencia de 0.5 h y necesitará una potencia de movimiento de 159.31 W.

E. Sedimentador primario.

Para la remoción de las arenas, y materia sedimentable procedente del floculador se utilizará un sedimentador rectangular con un área efectiva de sedimentación de 24 m^2 y un volumen de 72 m^3 .

El tiempo de residencia será de 2.0 h que es el tiempo necesario para que las partículas puedan sedimentarse. Durante esta operación se espera tener una producción de lodos de 340.0 kg/d .

Es importante que en este punto no se produzcan flujo turbulento en el llenado.

F. Tanque de igualación

Es importante que las aguas residuales antes de entrar al reactor donde se llevará la última fase del tratamiento, tenga las condiciones adecuadas para evitar problemas en el equipo y baja eficiencia en el reactor. En este tanque de igualación se mezclará el agua residual industrial que ya ha recibido el tratamiento primario (remoción de grasas y sólidos en suspensión) con las aguas provenientes de los servicios de cafetería y las aguas negras previamente tratadas en un tamiz para la remoción de sólidos. Además se ajustará el pH del afluente así como el balance de nutrientes requeridos: Adición de nitrógeno y fósforo en dosificaciones necesarias.

G. Reactor anaeróbico tipo UASB

Para el tratamiento secundario del afluente de agua residual se utilizará un reactor UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket).

Este reactor fue elegido debido a que no necesita equipos de aireación, por lo tanto no utiliza consumos altos de energía eléctrica, además tiene una baja generación de sólidos, minimizando así los problemas de disposición de lodos.

Por otro lado es ideal para residuos industriales de tipo alimenticio por el tipo de proceso, ya que las bacterias pueden permanecer largos intervalos de tiempo sin alimentación en especial a temperaturas menores a los $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Otros factores importantes que se tomaron en cuenta para la elección de este proceso fueron que debido a su configuración geométrica necesita poco espacio para funcionar, no produce olores desagradables, no requiere una cantidad excesiva de nutrientes. Y por último la generación de productos aprovechables: Metano para la producción de energía, la cual dependiendo de los volúmenes de producción podría ser empleada en la empresa.

El reactor tendrá un volumen líquido 335.0 m^3 con una razón de carga orgánica de $6.0 \text{ kg DQO/m}^3\text{d}$. Se ha calculado un tiempo de retención hidráulica de 10.0 h.

Un dato importante que debe mencionarse es la cantidad de gas metano que se produce resultado del proceso, $723.5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}$ que produce una energía de $23.8 \times 10^6 \text{ kJ/d}$ que puede ser aprovechada en procesos internos de la empresa de alimento como en hornos que funcionan con gas propano en la cual puede realizarse una mezcla adecuada y aprovechar toda esta energía producida.

El costo de construcción de este reactor es de Q 273,600.00, siendo este el costo más importante en la construcción de la planta de tratamientos.

Este reactor necesitará un plan de operación y mantenimiento para vigilar constantemente la calidad de los lodos, niveles de alcalinidad que ingresa al reactor, nivel de lodos en el reactor, limpieza de arenas, incrustaciones. Es por ello que en este proceso se requiere los costos más elevados debido a la construcción, operación y mantenimiento del mismo.

H. Sedimentador secundario

Se construirá un sedimentador secundario, con el fin de remover el exceso de biomasa que sale del reactor UASB. Este sedimentador tendrá un volumen útil de 108.0 m^3 con un tiempo de retención de 3.0 h que es superior al tiempo de retención del primer sedimentador. Esto se debe a que éste es el último paso en el tratamiento de aguas y se requiere que pueda eliminarse todo el exceso de biomasa.

I. Tanque de almacenamiento de lodos

El exceso de lodos producidos dentro del reactor UASB será enviado hasta un tanque para almacenamiento de lodos, de 18.0 m^3 de volumen útil, donde será mezclado con los lodos procedentes del tratamiento primario (del tamizado floculadores, sedimentadores). Los lodos combinados serán deshidratados mecánicamente en un filtro prensa.

J. Filtro prensa

Para el adecuado manejo de lodos provenientes de los procesos anteriormente mencionado se utilizará un filtro prensa de 12 platos (11 cámaras), el cual tendrá una capacidad de 2.26 m^3 filtrado/h. Estos lodos deshidratados, serán retirados de la planta a lugares donde se necesite rellenos.

La planta de tratamiento de aguas esta diseñada para un tiempo de 15 años de operación asumiendo un aumento en la producción de 5 %. Tendrá un costo de construcción de Q 1, 117,200.00, donde los costos más grandes son la construcción del reactor UASB con Q 273,600.00 y el tanque regulador de caudal Q 209,000.00, este último debido a la cantidad de metros cuadrados de construcción de 190 m^2 . Además se tienen costos de salarios del personal de operación y mantenimiento (dos turnos diarios) que ascienden a Q 18,585.39 por mes, gastos de mantenimiento de equipo que ascienden a Q 5,400.00 mensuales y otros gastos de coagulantes (cal y sulfato de aluminio) y pruebas de laboratorio que ascienden a Q 3,200.00 por mes.

IX. CONCLUSIONES

- A. La planta de tratamiento de aguas fue diseñada para 15 años de operación tomando en cuenta un aumento del 5 % anual en la producción actual de productos que se realizan en la empresa.
- B. La producción de gas metano en el proceso biológico (Reactor UASB) será de $723.5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}$ que produce una energía de $23.8 \times 10^6 \text{ kJ/d}$ (275.46 kW) que puede ser aprovechada en procesos internos de la empresa de alimento.
- C. Los costos estimados de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales ascenderán a Q 1,117,200.00
- D. Los costos estimados del personal de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales ascienden a Q 18,585.39 por mes.
- E. Los gastos de mantenimiento de equipo ascienden a Q 5,400.00 mensuales.

X. RECOMENDACIONES

- A. Reutilizar el agua tratada por la planta de aguas residuales en el riego de áreas verdes y jardines dentro de la empresa.
- B. El agua previamente tratada por la planta de tratamiento de aguas residuales que no pueda ser reutilizada desembocarlas en pozos de absorción para que se filtre por métodos naturales y llegue al manto acuífero del sector.
- C. Capacitación del personal de mantenimiento y operación en las actividades que deben realizarse en la planta de tratamiento de aguas residuales, en especial en los cuidados que deben tenerse en el reactor UASB.
- D. Realizar el estudio de la utilización del gas metano producido por el reactor UASB para confirmar la viabilidad de uso de este gas en algún proceso de la empresa.
- E. Debido a que el gas metano producido por el reactor anaeróbico es un gas invernadero, es importante no descargarlo a la atmósfera, por ello es importante estudiar el uso de este gas en procesos dentro de la planta.
- F. Separar las aguas negras producidas en la planta del tratamiento del agua residual. Las aguas negras deben de ser desembocadas en la candela municipal domiciliar.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Donald, Droste. 1996. *Theory and practice of water and wastewater treatment*. New York. John Wiley & Sons. 273 págs.

Fair, Gordon; Geyer, J..1971. *Purificación de aguas, tratamiento y remoción de aguas residuales*. México. Editorial Limusa-Wiley. 2 volúmenes.

Hernández Lehmann, Aurelio.1997. *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. España. 225 págs.

Madrid, Vicente; Madrid C. J.. 2001. *Nuevo Manual de Industrias Alimentarias*. 3ª ed. España. Editorial Mundi-Prensa. 267 págs.

Metcalf & Eddy. 1995. *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª ed. México. McGraw-Hill. 578 págs.

Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*. 4ta ed. New York, McGraw-Hill. 1819 págs.

Nathason, J.A. 1997. *Basic Environmental Technology*. New York. Prentice-Hall & Upper Saddle River. 403 págs.

Perry, Robert y D. Green. 2001. *Manual del ingeniero químico*. 7ª ed. España, McGraw-Hill. 4 volúmenes.

Reyna, Evelyn Irene. 1998. *Manejo integrado de la cuenca del lago de Amatitlán*. [en línea]. Estados Unidos, University Columbia.

<http://srdis.ciesin.columbia.edu/cases/guatemala-004-sp.html> [consulta: 15 de agosto del 2005]

Winkler, M.A.. 1994. *Tratamiento biológico de aguas de desecho*. México. Limusa. 393 págs.

XII. APÉNDICE

A continuación se detallan los cálculos realizados para cada una de las etapas del tratamiento del agua residual.

A. Cribado

Los siguientes son valores de las diferentes variables.

- Barrotes No. 2 (¼") de acero inoxidable 316
- Ancho de barrotes 6.35 mm (1/4")
- Separación libre entre barrotes 15.0 mm
- Porcentaje sección de atascamiento máximo tolerado 70 %
- $Q_{(max)}$ 143.07 m³/h (0.04 m³/s)
- $V_{paso(Qmax)} < 1.0$ m/s
- K_2 , se determina de la figura 1, valor igual a 1.0
- K_3 , se determina del cuadro 16, valor 0.77
- C_{rej} , coeficiente de seguridad (0.3 m)
- La rejilla tendrá una inclinación de 45° a favor del afluente
- La limpieza de la rejilla será manual

1. Cálculo de anchura del canal en la zona de la rejilla

$$W = \frac{Q_{max}[(a+s)/s]}{v \times D} + C_{rej} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$W = 0.30 \text{ m}$$

Donde W = ancho de canal de rejillas, (m)

$Q_{m\acute{a}x}$ = caudal máximo, (m³/s)

v = velocidad de paso del agua entre las rejillas, (m/s)

D = nivel de aguas arriba de la rejilla a caudal máximo (m)

a = ancho de los barrotes, (m)

s = separación libre entre barrotes (m)

C_{rej} = coeficiente de seguridad (m), finas 0.1 m, gruesas 0.3 (m)

2. Cálculo de D:

$$D = 0.15 + 0.74\sqrt{Q_{\max}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$D = 0.295 \text{ m}$$

3. Altura del canal

$$A_w = Q/v \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$= 0.04 \text{ m}^2$$

Donde A_w = área útil de la rejilla, (m²)

Q = caudal máximo, (m³/s)

V = velocidad de paso, (m/s)

$$H = A_w/W \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$= 0.13 \text{ m}$$

Se recomienda utilizar una altura de 0.20 m

Donde H = altura del canal, (m)

W = ancho del canal, (m)

4 Pérdida de carga a través de una reja

$$\Delta h = K_1 \times K_2 \times K_3 \times (v^2/2g) \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$= 0.08 \text{ m}$$

Donde Δh = pérdida de carga, (m)

v = velocidad de paso en el canal, (m/s)

g = aceleración de la gravedad, (m²/s)

K_1 = constante por atascamiento

K_2 = constante sobre la base de la forma de la sección horizontal

K_3 = constante sobre la base de la sección de paso a través de los barrotes

$$K_1 = (100/C)^2 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$= 2.04$$

Donde C = porcentaje de la sección de paso de atascamiento máximo
70 %

B. Tanque regulador de caudal

Para el cálculo del volumen del tanque regulador de caudal, se utilizó el método gráfico en la cual se grafica la curva de volúmenes acumulados, luego se traza la curva del caudal promedio y se finaliza trazando las rectas tangentes paralela a la curva del caudal promedio. La distancia vertical que se encuentran entre estas dos tangentes es el volumen necesario para amortiguar los caudales pico de cada proceso.

En los cuadros (4 a 7), se encuentran tabuladas las mediciones de los caudales promedios y el caudal acumulado de los cuatro diferentes procesos.

En las ilustraciones (3 a 6) se encuentran representadas las curvas del volumen acumulado, la curva del caudal promedio y las curva tangentes de cada uno de los cuatro procesos que se realizan actualmente en la planta..

Cuadro 7. Metros cúbicos necesarios para amortiguar los caudales pico en cada proceso

Procesos que se realizan actualmente en la planta	Metros cúbicos necesarios en cada proceso para amortiguar los picos de caudal
Proceso A	30.0
Proceso B	5.0
Proceso C	11.0
Proceso D	12.0
Sumatoria total	58.0
Con un factor de seguridad por variación de 1.2	70.0

Volumen total del tanque de balance de caudal es la sumatoria de cada uno de los metros cúbicos necesarios para amortiguar los picos del caudal en los respectivos procesos. En este caso se necesita un tanque de 58.0 m³ para lograr dicho propósito. Utilizando un factor de seguridad por variación de 1.2 recomendado por la bibliografía, se necesita un volumen de 70.0 m³.

Además considerando un crecimiento en la producción de un 5 % por año, en 15 años que es el tiempo de vida de la planta se necesita un tanque con una capacidad de 153.0 m³

Las dimensiones del tanque son las que siguen a continuación

$$\begin{aligned} V &= l \times a \times h && \text{(Ecuación 7)} \\ 8.5 \text{ m} \times 6.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} &= && \mathbf{153.0 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

Volumen total final del tanque aplicando un factor de seguridad del 10 % por volumen de construcción y elementos de aireación. = **168.0 m³**

Donde

$$\begin{aligned} V &= \text{volumen del tanque, (m}^3\text{)} \\ l &= \text{largo, (8.5 m)} \\ a &= \text{ancho, (6.6 m)} \\ h &= \text{altura, (3.0 m)} \end{aligned}$$

Este tanque tendrá un sistema de aireado para evitar malos olores.

Se sabe que la aireación mecánica para el agua residual con una carga de DBO₅ de aproximadamente 4000 mg/L, se encuentra entre 0.72 y 1.44 Kw/m³, por lo que se necesita una potencia de aireación mecánica de 110.16 Kw.

Cuadro 8. Caudales promedio y volumen acumulado en 24 horas en el proceso A

HORA	CAUDAL PROMEDIO (m ³ /h)	VOLUMEN ACUMULADO (m ³)
16:00 a 17:00	11.392	11.392
17:00 a 18:00	14.875	26.267
18:00 a 19:00	17.638	43.905
19:00 a 20:00	6.539	50.444
20:00 a 21:00	6.813	57.257
21:00 a 22:00	7.040	64.297
22:00 a 23:00	7.797	72.094
23:00 a 00:00	7.759	79.854
00:00 a 01:00	6.964	86.818
01:00 a 02:00	5.450	92.269
02:00 a 03:00	9.311	101.580
03:00 a 04:00	9.008	110.588
04:00 a 05:00	8.403	118.991
05:00 a 06:00	13.087	132.078
06:00 a 07:00	5.034	137.112
07:00 a 08:00	17.903	155.015
08:00 a 09:00	6.207	161.222
09:00 a 10:00	8.765	169.988
10:00 a 11:00	12.152	182.139
11:00 a 12:00	12.755	194.895
12:00 a 13:00	10.447	205.341
13:00 a 14:00	6.970	212.311
14:00 a 15:00	12.604	224.915
15:00 a 16:00	6.813	231.728
Promedio	9.655	

Cuadro 9. Caudales promedios y volumen acumulado en 24 horas en el proceso B.

HORA	CAUDAL PROMEDIO (m ³ /h)	VOLUMEN ACUMULADO (m ³)
16:00 a 17:00	4.284	4.284
17:00 a 18:00	2.914	7.198
18:00 a 19:00	0.833	8.031
19:00 a 20:00	0.000	8.031
20:00 a 21:00	0.000	8.031
21:00 a 22:00	0.000	8.031
22:00 a 23:00	0.000	8.031
23:00 a 00:00	0.000	8.031
00:00 a 01:00	0.000	8.031
01:00 a 02:00	0.000	8.031
02:00 a 03:00	0.000	8.031
03:00 a 04:00	0.000	8.031
04:00 a 05:00	0.000	8.031
05:00 a 06:00	0.151	8.182
06:00 a 07:00	0.530	8.712
07:00 a 08:00	0.681	9.394
08:00 a 09:00	0.000	9.394
09:00 a 10:00	0.000	9.394
10:00 a 11:00	0.038	9.432
11:00 a 12:00	0.000	9.432
12:00 a 13:00	0.606	10.037
13:00 a 14:00	1.287	11.324
14:00 a 15:00	0.000	11.324
15:00 a 16:00	0.000	11.324
Promedio	0.472	

Cuadro 10. Caudales promedios y volumen acumulado en 24 horas en el proceso C.

HORA	CAUDAL PROMEDIO (m³/h)	VOLUMEN ACUMULADO (m³)
16:00 a 17:00	0.962	0.962
17:00 a 18:00	2.082	3.044
18:00 a 19:00	2.914	5.958
19:00 a 20:00	2.536	8.494
20:00 a 21:00	2.574	11.068
21:00 a 22:00	2.271	13.339
22:00 a 23:00	2.271	15.610
23:00 a 00:00	2.536	18.146
00:00 a 01:00	2.385	20.531
01:00 a 02:00	1.817	22.348
02:00 a 03:00	2.006	24.354
03:00 a 04:00	1.287	25.640
04:00 a 05:00	1.893	27.533
05:00 a 06:00	2.309	29.842
06:00 a 07:00	1.400	31.242
07:00 a 08:00	1.893	33.135
08:00 a 09:00	1.211	34.346
09:00 a 10:00	1.703	36.049
10:00 a 11:00	0.871	36.920
11:00 a 12:00	0.908	37.828
12:00 a 13:00	0.151	37.980
13:00 a 14:00	1.779	39.759
14:00 a 15:00	3.861	43.619
15:00 a 16:00	5.753	49.372
Promedio	2.057	

Cuadro 11. Caudales promedios y volumen acumulado en 24 horas en el proceso D.

HORA	CAUDAL PROMEDIO (m ³ /h)	VOLUMEN ACUMULADO (m ³)
16:00 a 17:00	1.526	1.526
17:00 a 18:00	2.309	3.835
18:00 a 19:00	2.687	6.523
19:00 a 20:00	2.839	9.361
20:00 a 21:00	2.271	11.632
21:00 a 22:00	2.271	13.903
22:00 a 23:00	2.271	16.174
23:00 a 00:00	2.650	18.824
00:00 a 01:00	2.309	21.133
01:00 a 02:00	1.741	22.874
02:00 a 03:00	1.779	24.653
03:00 a 04:00	1.173	25.826
04:00 a 05:00	2.271	28.097
05:00 a 06:00	1.817	29.914
06:00 a 07:00	1.628	31.541
07:00 a 08:00	1.590	33.131
08:00 a 09:00	1.438	34.569
09:00 a 10:00	1.590	36.159
10:00 a 11:00	0.681	36.840
11:00 a 12:00	0.530	37.370
12:00 a 13:00	0.227	37.597
13:00 a 14:00	3.255	40.853
14:00 a 15:00	5.072	45.924
15:00 a 16:00	3.936	49.861
Promedio	2.078	

Ilustración 6. Volumen acumulado en el proceso A

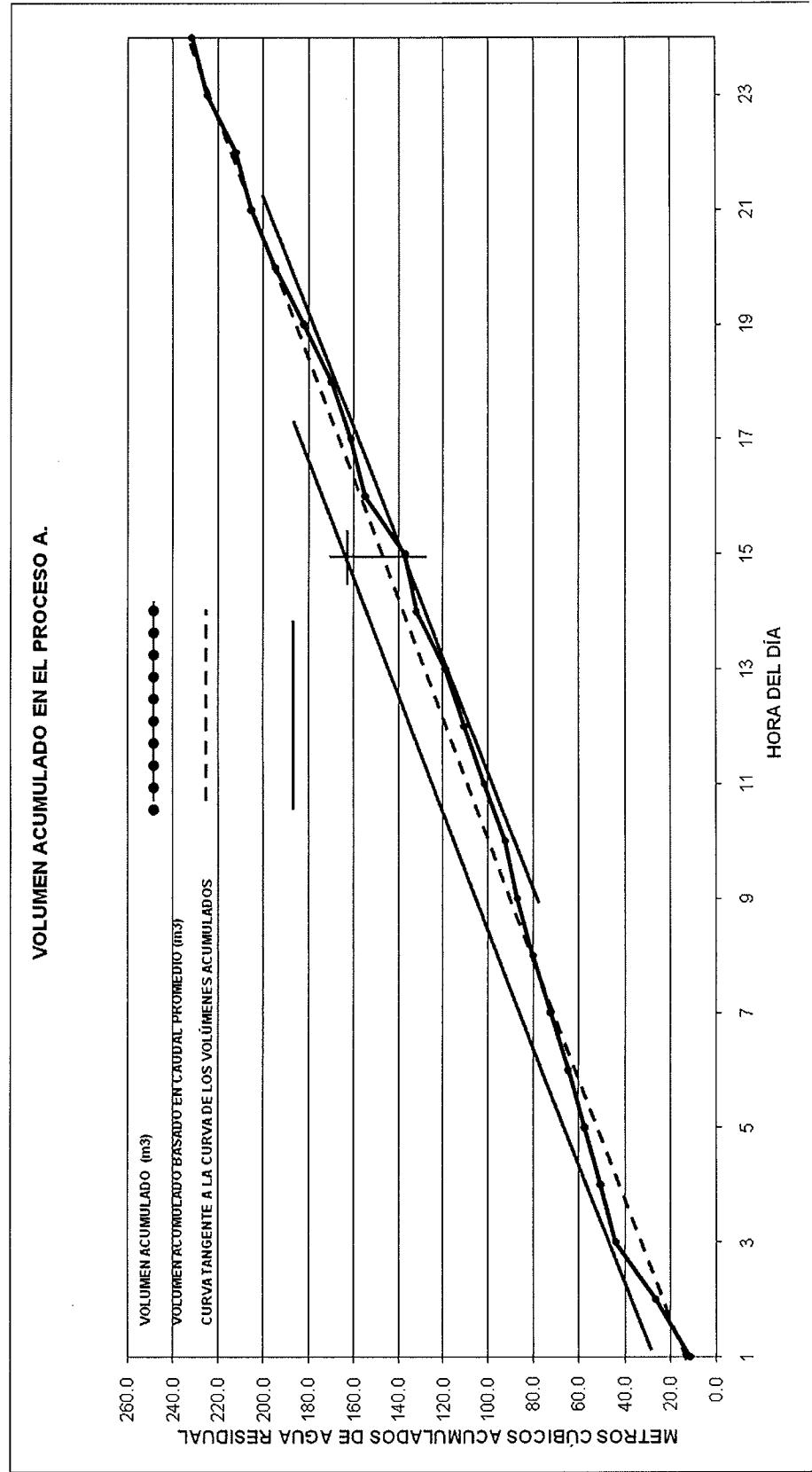


Ilustración 7. Volumen acumulado en el proceso B.

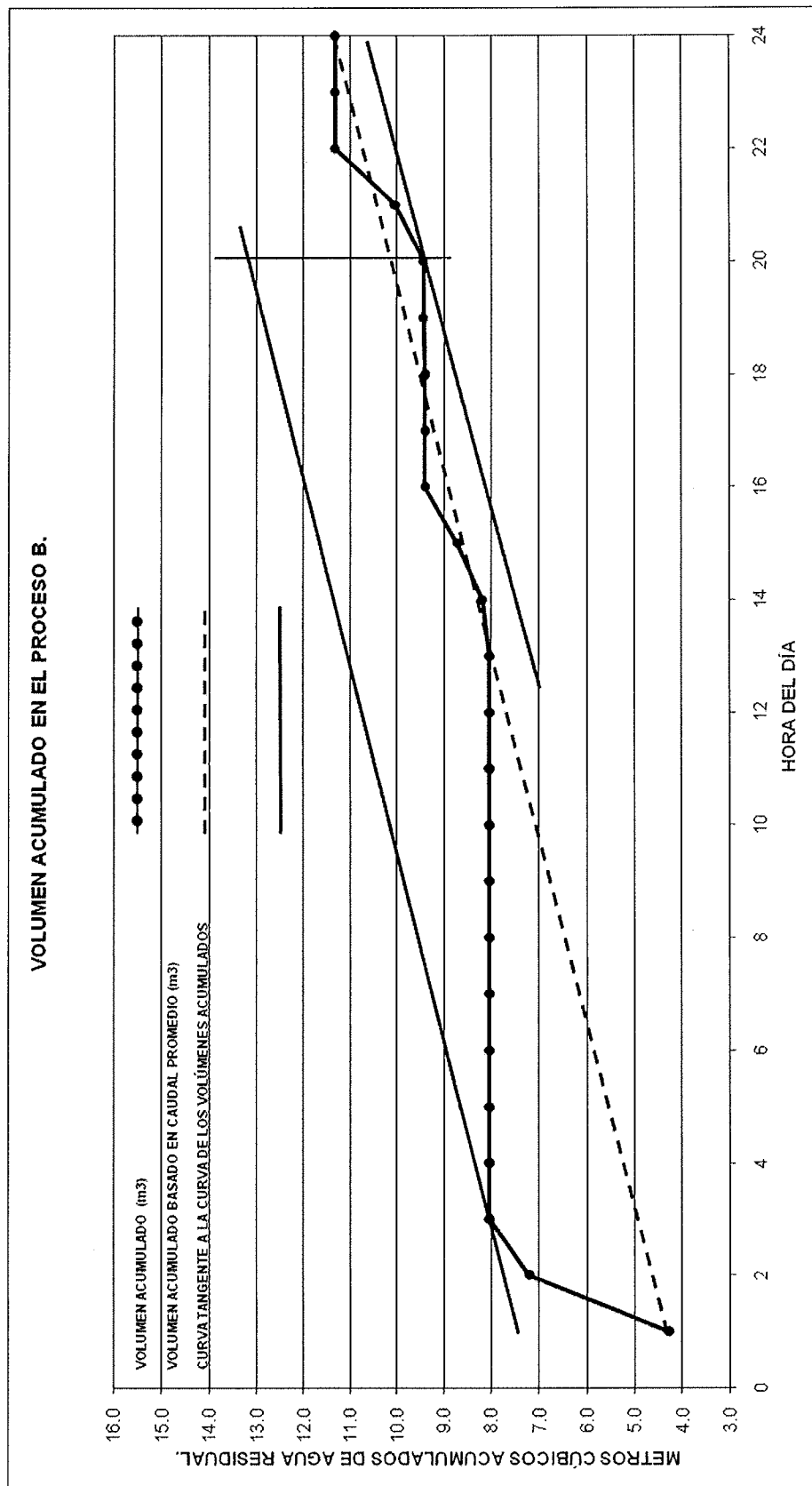


Ilustración 8. Volumen acumulado en el proceso C.

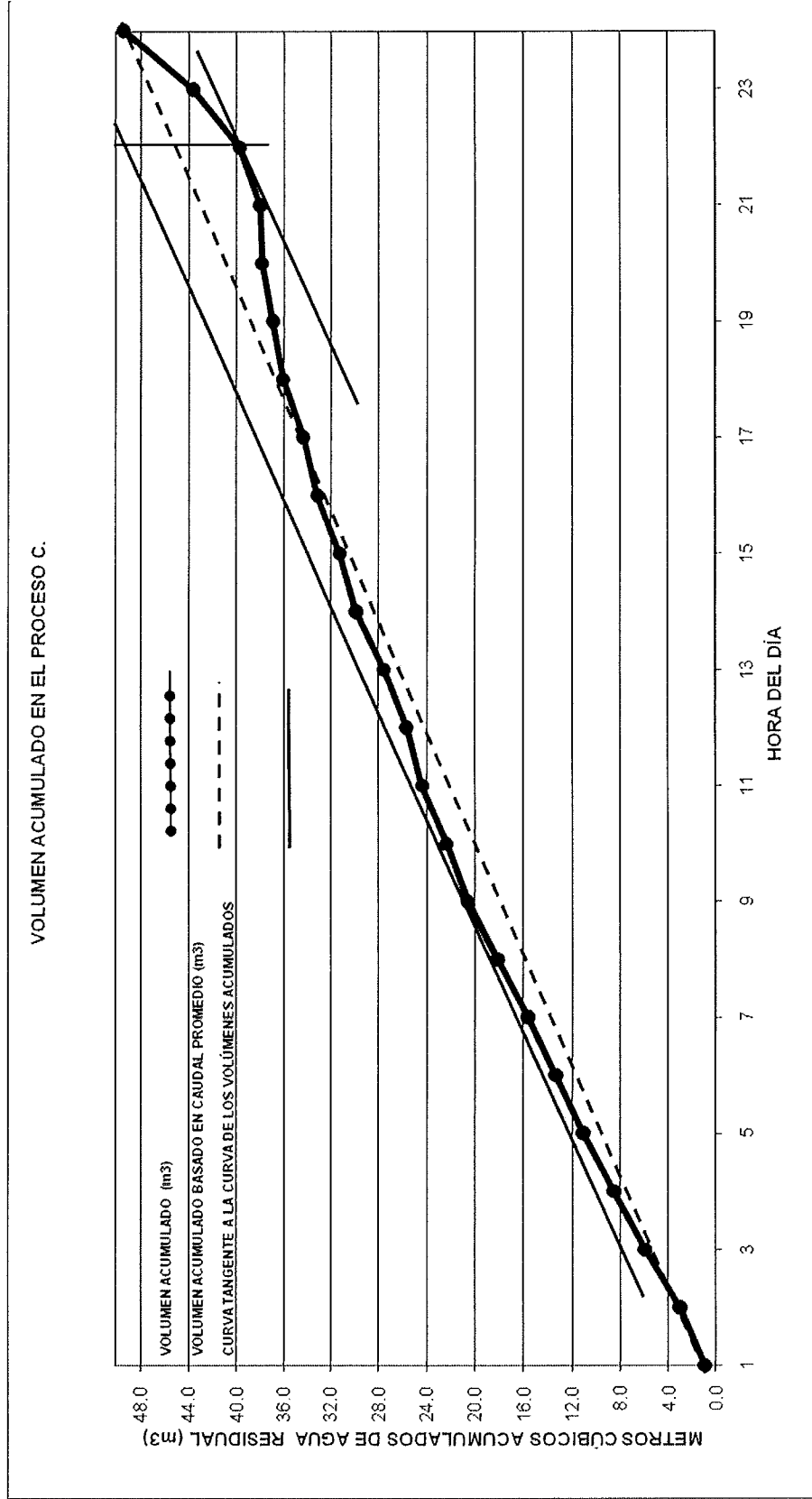
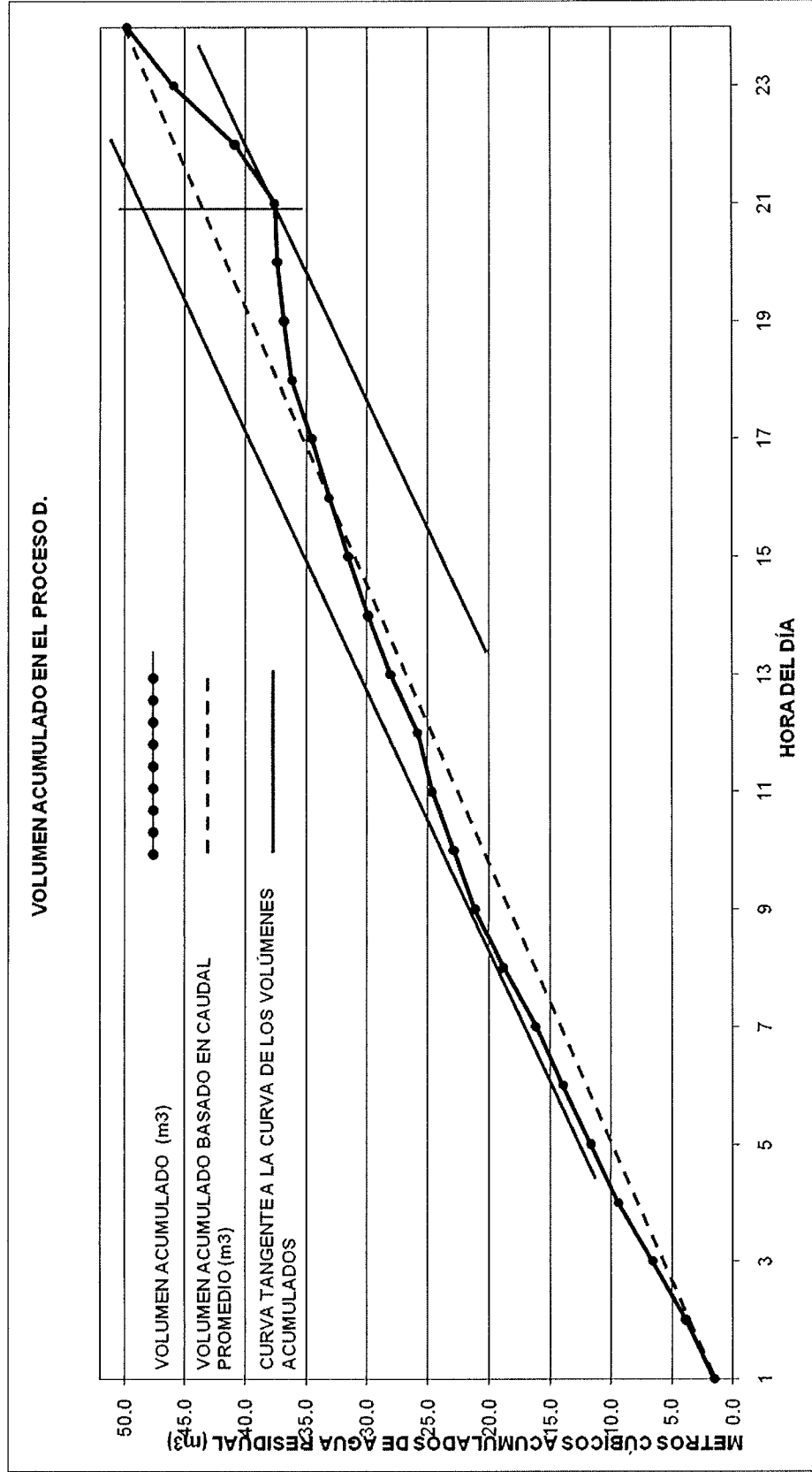


Ilustración 9. Volumen acumulado en el proceso D.



C. Trampa de grasas, aceites y materia flotante.

Las dimensiones de la trampa de grasas se determinan de la siguiente forma:

$$V = Q_{(\text{diseño})} \times t \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$= 18.0 \text{ m}^3$$

Donde

$$\begin{aligned} V &= \text{Volumen efectivo de la trampa de grasas, (m}^3\text{)} \\ Q_{(\text{diseño})} &= \text{Caudal de diseño, (35.77 m}^3\text{/h)} \\ t &= \text{Tiempo de retención. Se recomienda 30 minutos, (0.5 h)} \end{aligned}$$

Volumen total de la trampa de grasa con un factor de seguridad de diseño del 10 % por volumen de construcción de tres cortinas de concreto **20.0 m³**

De acuerdo a las normas de diseño se recomienda una relación entre el largo y el ancho de:

$$\text{Largo} = 1.8 \text{ ancho}$$

Por lo tanto, las dimensiones de la trampa de grasas son las siguientes:

$$V = l \times a \times h \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$4.45 \text{ m} \times 2.25 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} = 20.0 \text{ m}^3$$

Donde V = volumen del tanque (m³)

l = largo, (4.45 m)

a = ancho, (2.25 m)

h = altura, (2.0 m)

En el cuadro 17 se muestran las dimensiones de las trampas de grasas de acuerdo a los rangos de agua proyectados y la ilustración 8 muestra el diseño de la trampa de grasas.

D. Tanque de floculación

Los siguientes son valores de tiempo de retención que recomienda la bibliografía (ver cuadro 20)

- Tiempo del mezclado, (60 s)

- Tiempo de retención en el tanque de floculación, (0.5 h)

$$\begin{aligned} V &= Q_{(\text{diseño})} \times t && \text{(Ecuación 10)} \\ &= 18.0 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se recomienda usar un tanque con 15 % más del volumen efectivo (21 m³) debido a que el agitador de paletas reduce el volumen efectivo del floculador.

Donde V = volumen efectivo del floculador, (m³)
 $Q_{(\text{diseño})}$ = caudal de diseño, (35.77 m³/h)
 t = tiempo de retención. Se recomienda 30 minutos, (0.5 h)

$$\begin{aligned} P &= G^2 \times \mu \times V && \text{(Ecuación 11)} \\ &= 159.31 \text{ W} \end{aligned}$$

Donde P = potencia requerida para lograr el gradiente de velocidad promedio G en el floculador, (W)
 G = gradiente de velocidad promedio, (100 s⁻¹)
 μ = viscosidad del agua 25 °C, (0.8850X10⁻³ N s/m²)
 V = volumen del tanque de floculación, (18.0 m³)

En el proceso de floculación incluye la adición de coagulantes químicos.

Para producir microflóculos por coagulación en este tanque se agregara cal y sulfato de aluminio para lograr estabilizar el pH. La dosificación de estos coagulantes no está contemplada en este trabajo debido a que no se contó con los recursos económicos para realizar estos estudios de laboratorio, pero se recomienda realizar la prueba de jarras (ver glosario Pág. 90 en apéndice) para determinar la dosificación de los coagulantes químicos.

El tanque de floculación contara con agitación por medio de paletas que tienen las siguientes dimensiones:

$$A = 2P/C_D \times \rho \times v_p^3 \quad \text{(Ecuación 12)}$$

		=	1.95 m²
Donde	A	=	área útil total de las paletas rectangulares, (m ²)
	P	=	potencia requerida para lograr el gradiente de velocidad promedio G en el floculador, (159.31 W)
	C _D	=	coeficiente de arrastre de las paletas con movimiento perpendicular al fluido, (1.8 para paletas rectangulares)
	v _p	=	velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido, (0.45 m/s)
	ρ	=	densidad del agua a 25 °C, (997.0 kg/m ³)

Se recomienda el siguiente intervalo de rpm para el agitador de paletas [60 a 140 rpm] que es una agitación lenta y suave, además al momento de la construcción del floculador, es necesaria la realización de la prueba de jarras (ver glosario Pág. 90 en apéndice) para determinar experimentalmente las rpm precisas en las cuales el agitador de paletas no daña la coagulación.

Dimensiones del tanque de floculación:

	V	=	l x a x h	(Ecuación 13)
		=	4.0 m x 2.7 m x 2.0m	= 21.0 m³
Donde	V	=	volumen del tanque (m ³)	
	l	=	largo, (4.0 m)	
	a	=	ancho, (2.7 m)	
	h	=	altura, (2.0 m)	

Dimensiones de las paletas a utilizar en el tanque de floculación. Se utilizarán cuatro paletas con un área de 0.484 m² por paleta. Cada paleta tendrá 3.0 m de largo y un ancho de 0.16 m.

E. Sedimentador primario

Los siguientes son los valores de las diferentes variables,

- Tipo de sedimentador rectangular
- % de eliminación de S.S. 30 %

- % de eliminación de DBO₅ 30 %
- $Q_{(\text{diseño})} = 35.77 \text{ m}^3/\text{h}$
- $t_{(\text{residencia})} = 2.0 \text{ h}$, obtenido del cuadro 18
- $V_{\text{asc}(Q_{\text{diseño}})} = 1.30 \text{ m/h}$, obtenido del cuadro 18
- Inclinación del fondo 5 %
- Altura recomendada para sedimentadores rectangulares de 3.0 m, obtenido del cuadro 18.

$$V = Q_{(\text{diseño})} \times t \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$= 71.54 \text{ m}^3$$

se recomienda usar un tanque de 72 m^3

Donde

$$V = \text{volumen efectivo del sedimentador rectangular, (m}^3\text{)}$$

$$Q_{(\text{diseño})} = \text{caudal de diseño, (35.77 m}^3\text{/h)}$$

$$t = \text{tiempo de retención, (2.0 h)}$$

$$S = V/h \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$= 24.0 \text{ m}^2$$

Donde

$$S = \text{superficie horizontal del sedimentador}$$

$$V = \text{volumen efectivo del sedimentador rectangular, (72.0 m}^3\text{)}$$

$$h = \text{altura normal recomendada para sedimentadores rectangulares, (3.0 m)}$$

$$V_{\text{asc}} = Q_{(\text{diseño})}/S \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$= 1.5 \text{ m/h}$$

Donde

$$V_{\text{asc}} = \text{velocidad real de ascensional (m/h)}$$

$$S = \text{superficie del sedimentador (24 m}^2\text{)}$$

$$Q_{(\text{diseño})} = \text{caudal de diseño a tratar (35.77 m}^3\text{/h)}$$

Dimensiones del tanque de sedimentación primaria:

$$V = l \times a \times h \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$= 6.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} = 72.0 \text{ m}^3$$

Donde	V	=	volumen del tanque (m ³)
	l	=	largo, (6.0 m)
	a	=	ancho, (4.0m)
	h	=	altura, (3.0 m)

Se recomienda una inclinación del fondo del sedimentador primario de 5 %

Producción de lodos:

$$F1 = K \times \text{kg SST/d}_{\text{agua bruta a tratar}} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$= 340.0 \text{ kg/d}$$

Donde	F1	=	Producción de lodos en el sedimentador, (kg /d)
	K	=	coeficiente de eficiencia de producción que oscila entre 40 y 60 %
kg SST/d _{agua bruta a tratar}		=	concentración de sólidos en suspensión en el agua bruta (680 kg/d)

F. Tanque de igualación (homogenización)

Posterior al tratamiento primario que se le darán a las aguas residuales industriales se procederá a la mezcla con las aguas negras que se generan en la planta.

Se asume que las aguas negras ya han pasado previamente por una rejilla donde se eliminan los sólidos gruesos.

$$V_{(\text{planta})} = Q_{(\text{planta})} \times t \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$= 17.88 \text{ m}^3$$

Donde	V _(planta)	=	volumen del tanque de homogenización necesario para el agua residual de la planta sin tomar en cuenta las aguas negras, (m ³)
	Q _(planta)	=	caudal que se genera en la planta producto de los diferentes procesos, (35.77 m ³ /h)
	t	=	tiempo de retención necesario para lograr que las aguas negras se

mezclen con las aguas residuales industriales y se establezca el pH y el balance de nutrientes requerido: adición de nitrógeno y fósforo, en caso de ser necesario antes de ingresar al reactor biológico, (0.5 h)

$$\begin{aligned} V_{(\text{aguas negras})} &= Q_{(\text{aguas negras})} \times t && \text{(Ecuación 20)} \\ &= 0.35 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Donde $V_{(\text{aguas negras})}$ = volumen del tanque de homogenización necesario para las aguas negras, (m^3)

$$\begin{aligned} Q_{(\text{aguas negras})} &= \text{caudal de aguas negras generado, (} 0.63 \text{ m}^3/\text{h)} \\ t &= \text{tiempo de retención necesario para lograr el mezclado,} \\ & \text{(0.5 h)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{(\text{total del tanque})} &= V_{(\text{planta})} + V_{(\text{aguas negras})} && \text{(Ecuación 21)} \\ &= 18.23 \text{ m}^3 \\ & \text{se recomienda un volumen de } 19.0 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dimensiones del tanque de homogenización:

$$\begin{aligned} V &= l \times a \times h && \text{(Ecuación 22)} \\ &= 3.5 \text{ m} \times 2.75 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} = 19.0 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Donde V = volumen del tanque (m^3)

$$\begin{aligned} l &= \text{largo, (3.5 m)} \\ a &= \text{ancho, (2.75m)} \\ h &= \text{altura, (2.0 m)} \end{aligned}$$

Agitadores a utilizar en el tanque de homogenización: **Agitadores Flygt Serie 4410** "tipo Banana", de alta eficiencia.

Núm. de agitadores:	2
Frecuencia:	50 Hz
Velocidad media:	0.32 m/s
Empuje preciso	130 N
Empuje nominal:	450-2410 N
Potencia en el eje:	2.3 kW
Potencia:	3.1 kW
Núm. de polos:	4
Velocidad de la hélice:	25-45 rpm
Diámetro de la hélice:	1.4-2.5 m
Peso:	215 kg

G. Parámetros recomendados para la compra del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) también llamado UASB (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket)

Los siguientes son los valores de las diferentes variables,

- Tipo de reactor UASB
- $Q_{(\text{diseño})}$ = caudal de diseño 35.77 m³/h
- T = temperatura del reactor 25 °C
- DQO = demanda química de oxígeno, (1.97 kg/m³)
- Alcalinidad total = 500 g/m³

$$V_n = Q_{(\text{diseño})} \times S_o / L_{\text{org}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde $V_n = 282.43 \text{ m}^3$
 volumen nominal efectivo

$Q_{(\text{diseño})}$ = caudal de diseño a tratar en el reactor, (35.77 m³/h)

S_o = flujo de DQO/m³d, (1.97 kg DQO/m³d)

L_{org} = razón de carga orgánica, (6.0 kg DQO/m³d) obtenido del cuadro 22
 Pág. 83

$$V_L = V_n / E \quad (\text{Ecuación 24})$$

$$= 332.3 \text{ m}^3$$

se recomienda un reactor con un volumen útil de 335 m³

Donde $V_L =$ Volumen líquido total necesario del reactor debajo de recolector de gas, (m³)

$V_n =$ volumen nominal efectivo

$E =$ factor de efectividad, (0.85)

Dimensiones del reactor anaeróbico UASB:

$$A = Q/v \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$= 51.1 \text{ m}^2$$

Donde A = área seccional del reactor, (m^2)
 Q = caudal de diseño a tratar en el reactor, ($858.48 m^3/d$)
 v = velocidad de llenado, ($0.7 m/h$) obtenido del cuadro 23.

$$D = \sqrt[4]{(4A/\pi)} \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$= 8.0 \text{ m}$$

Donde D = diámetro del reactor, (m)
 A = área seccional del reactor, ($51.1 m^2$)
 π = constante, (3.1416)

Altura del reactor UASB:

$$H_L = V_L/A \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$= 6.50 \text{ m}$$

Donde H_L = altura del reactor basado en el volumen líquido, (m)
 V_L = Volumen líquido total del reactor, ($332.3 m^3$)
 A = área seccional del reactor, ($51.1 m^2$)

$$H_{total} = H_L + H_G \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$= 9.5 \text{ m}$$

H_{total} = altura total del reactor UASB, (m)
 H_L = altura del reactor basado en el volumen líquido, (6.50 m)
 H_G = altura del colector de gas en el reactor, (2.5 m) altura recomendada por la literatura

Tiempo de retención hidráulica del reactor:

$$\tau = V_L/Q_{(\text{diseño})} \quad (\text{Ecuación 29})$$

$$= 10.0 \text{ h}$$

Donde: τ = tiempo de retención hidráulica, (h)
 V_L = Volumen líquido total del reactor, (332.3 m³)
 $Q_{(\text{diseño})}$ = caudal de diseño a tratar en el reactor, (858.48 m³/d)

Producción de gas metano:

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (\text{Ecuación 30})$$

$$= 24.46 \text{ L}$$

Donde V = volumen de gas metano producido (L)
 n = número de moles, (1 mol)
 R = constante de los gases ideales, (0.082057 atm.L/mole.K)
 T = temperatura 25 °C, (298.15 K)
 P = presión del gas, (1.0 atm)

Sabiendo que en 64.0 g de DQO hay 1.0 moles de gas metano CH₄ y conociendo que en la planta se generara 1904.0 kg DQO/d, se realiza el siguiente calculo:

$$\frac{24.46 \text{ L CH}_4}{1.0 \text{ moles CH}_4} \times \frac{1.0 \text{ moles CH}_4}{64.0 \text{ g DQO}} \times \frac{1000 \text{ g DQO}}{1.0 \text{ kg DQO}} \times \frac{1904.0 \text{ kg DQO}}{1.0 \text{ d}} \times \frac{1.0 \text{ m}^3 \text{ de CH}_4}{1000 \text{ L de CH}_4}$$

$$= 723.5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}$$

Volumen total real producido de gas:

Utilizando un 65 % de contenido de gas de metano a 25 °C, obtenido del cuadro 21 se tiene:

$$V_T = \frac{723.5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}}{0.65}$$

$$= 1113.1 \text{ m}^3/\text{d}$$

Energía producida por el gas metano:

Para la determinación de la energía producida, se determina la densidad del gas metano a 25 °C, además se utiliza el factor de 50.01 kJ/g de metano, obtenido del cuadro 21.

$$\frac{723.5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4}{1 \text{ d}} \times \frac{1000 \text{ L CH}_4}{1.0 \text{ m}^3 \text{ CH}_4} \times \frac{0.656 \text{ g CH}_4}{1.0 \text{ L CH}_4} \times \frac{50.1 \text{ kJ}}{1.0 \text{ g CH}_4} = 23.8 \times 10^6 \text{ kJ/d}$$

H. Tanque de sedimentación secundaria

Los siguientes son los valores de las diferentes variables

Tipo de sedimentador circular

- $Q_{(\text{diseño})}$ = 35.77 m³/h
- $V_{\text{asc}(Q_{\text{diseño}})}$ = 0.8 m/h, obtenido del cuadro 19
- Carga de sólidos ($Q_{\text{diseño}}$) = 2.5 kg /m²d, obtenido del cuadro 19
- Tiempo de retención = 3.0 h, obtenido del cuadro 19
- Altura recomendada = 3.0 m

$$V = Q_{(\text{diseño})} \times t \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$= 107.3 \text{ m}^3$$

se recomienda usar un tanque de 108.0 m³

Donde V = volumen efectivo del sedimentador secundario, (m³)
 $Q_{(\text{diseño})}$ = caudal de diseño, (35.77 m³/h)
 t = tiempo de retención, (3.0 h)

$$A = V_{(\text{sedimentador})} / h_{(\text{recomendada})} \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$= 36.0 \text{ m}^2$$

Donde A = área seccional del sedimentador circular, (36.0 m²)
 $V_{(\text{sedimentador})}$ = volumen del sedimentador, (36.0 m³)
 $h_{(\text{recomendada})}$ = altura recomendada, (3.0 m)

$$D = \sqrt{(4A/\pi)} \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$= 6.8 \text{ m}$$

Donde D = diámetro del reactor, (6.8m)
 A = área seccional del reactor, (36.0 m²)
 π = constante, (3.1416)

I. Tanque para almacenamiento de lodos

Para el diseño del tanque de almacenamiento de lodos se necesita conocer cuál es la carga total de contaminante a remover.

Cuadro 12. Descripción de la cantidad de contaminantes en los diferentes procesos de la planta de alimentos.

Contaminante	Proceso A	Proceso B	Proceso C	Proceso D	Total mg/L
DBO (mg/L)	2064	924	225	1104	4317
DQO (mg/L)	2560	1335	376	1413	5684
Sólidos totales en suspensión (mg/L)	934	268	82	558	1842
Sólidos sedimentables (mg/L)	15	0	0	6	21
Grasas y aceites (mg/L)	47	76	6	74	203
Contaminantes totales					12067

Asumiendo una 85 % de remoción de contaminantes se tiene:

$$12.067 \text{ g/L} \times 0.85 = 10.25 \text{ g/L}$$

$$\frac{10.25 \text{ g} \times 35760 \text{ L} \times 1.0 \text{ kg}}{1.0 \text{ L} \quad 1.0 \text{ h} \quad 1000 \text{ g}} = 366.54 \text{ kg de sólidos removidos/h}$$

$$\frac{366.54 \text{ kg sólidos removidos}_{(base\ seca)}}{1.0 \text{ h}} \times \frac{100 \text{ kg sólido}_{(base\ húmeda)}}{15 \text{ kg de sólido}_{(base\ seca)}} = 2443.6 \text{ kg de lodo/h}$$

$$\frac{2443.6 \text{ kg (lodo) húmedo}}{1.0 \text{ h}} \times \frac{1.0 \text{ L lodo}}{1.1 \text{ kg lodo}} = 2221.45 \text{ L lodo/h}$$

$$\frac{2221.45 \text{ L lodo}}{1.0 \text{ h}} \times \frac{1.0 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times 8.0 \text{ h (tiempo de residencia)} = 18.0 \text{ m}^3$$

Dimensiones del tanque de almacenamiento de lodos:

$$V = l \times a \times h \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$= 3.6 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} = 18.0 \text{ m}^3$$

Donde	V	=	volumen del tanque (m ³)
	l	=	largo, (3.6 m)
	a	=	ancho, (2.5m)
	h	=	altura, (2.0 m)

J. Filtro prensa.

Determinación del área de filtrado:

Para propósitos del presente diseño se tomó 4.9 m³/m²h, como área de filtrado.

La literatura sugiere un área de filtrado de 2.4 a 4.9 m³/m²h

Según los cálculos anteriores se tiene una producción de lodos de 2221.45 L lodo/h, (2.22 m³/h)

$$\frac{2.22 \text{ m}^3 \text{ lodo húmedo}}{1.0 \text{ h}} \times \frac{85 \text{ m}^3 \text{ filtrado}}{100 \text{ m}^3 \text{ lodo húmedo}} = 1.887 \text{ m}^3 \text{ filtrado/h}$$

$$1.887 \text{ m}^3 \text{ filtrado/h} \times 1.2 \text{ (factor de seguridad)} = 2.26 \text{ m}^3 \text{ filtrado/h}$$

$$\frac{2.26 \text{ m}^3 \text{ filtrado}}{1.0 \text{ h}} \times \frac{\text{m}^2 \text{h}}{4.9 \text{ m}^3 \text{ filtrado}} = 0.46 \text{ m}^2 \text{ de área del filtrado}$$

Características del filtro prensa seleccionado:

- Máxima área efectiva por cámara = 0.5 m²
- Grosor de torta del filtrado = 2 “ (0.0508 m)
- Plato y marco de metal
- Número de platos = 12 platos, (11 cámaras)
- Tipo de alimentación = por las esquinas
- Tipo de filtro = tipo 200 de descarga cerrada
- Presión máxima de operación 690.0 kPa (rango normal recomendado entre 517.1 kPa a 690.0 kPa)

- Se recomienda utilizar lona como medio filtrante.

Capacidad del filtro prensa:

$$\begin{aligned} V &= A \times t / 24 && \text{(Ecuación 34)} \\ &= 9.74 \times 10^{-04} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Donde

V	=	capacidad en m ³ del filtro prensa elegido
A	=	área requerida del filtrado, (m ²)
t	=	grosor de la torta, 2" (0.0508 m)

Tiempo del filtrado:

$$2.26 \text{ m}^3 \text{ filtrado/h} \times 8.0 \text{ h} = 18.08 \text{ m}^3 \text{ de filtrado}$$

$$18.08 \text{ m}^3 \times \frac{\text{h} - \text{m}^2}{4.9 \text{ m}^3 \times 0.5 \text{ m}^2/\text{cámara} \times 11 \text{ cámaras}} = 0.68 \text{ h aproximadamente, } \mathbf{1.0 \text{ h}}$$

Cuadro 13. Análisis de agua residual final, producto de los cuatro procesos que se realizan en la empresa cárnica.

Parámetro	** Valores	Dimensionales
DBO	4317.0	(mg/L)
DQO	5684.0	(mg/L)
DBO/DQO	0.7	
Sólidos totales en suspensión	1842.0	(mg/L)
Sólidos sedimentables	21.0	(mg/L)
pH	6.0	
Materia flotante	ausente	
Grasas y aceites	203.0	(mg/L)
Cloro residual	0.0	(mg/L)
Caudal máximo diario	2384.6	(L/min)
Caudal promedio	14307.3	(L/h)
Volumen total en 24 horas	341.9	m ³
Color	556.0	u PtCo
Nitrógeno total	209.0	(mg/L-N)
Fósforo total	186.0	(mg/L-P)
Coliformes fecales	128650000.0	* (millones NMP/100 mL)

* NMP: número más probable.

** Estudio realizado por Soluciones Analíticas S.A. (Tel. 24422422)

Cuadro 14. Cargas de contaminante en el agua residual y aguas negras de los cuatro procesos que actualmente se realizan en la empresa cárnica.

* Parámetro	Proceso A	Proceso B	Proceso C	Proceso D	** ARI Totales Kg/día	Aguas negras	Totales	Totales con un factor de seguridad de 1.3 por variación de caudales
*** DBO (Kg/día)	478.46	9.93	11.10	55.21	554.70	3.3	558.00	725.40
**** DQO (Kg/día)	593.44	14.35	18.54	70.66	696.99	7.5	704.49	915.84
Sólidos totales en suspensión (Kg/día)	216.51	2.88	4.04	27.90	251.34	3.3	254.64	331.03
Sólidos sedimentables (Kg/día)	3.48	0	0.00	0.30	3.78		3.78	4.91
Grasas y aceites (Kg/día)	10.90	0.82	0.30	3.70	15.71	1.5	17.21	22.37
Caudal máximo diario (m ³ /h)	102.2	9.09	18.2	13.6	143.1	0.63	143.70	172.45
Caudal promedio (m ³ /h)	9.76	0.45	2.05	2.05	14.31	0.63	14.94	15.0
Total de m ³ en 24 horas	231.81	10.75	49.32	50.01	341.89	15	356.89	393.00
Nitrógeno total (Kg/día-N)	13.21	0.90	1.09	2.30	17.50	0.6	18.10	23.53
Fósforo total (Kg/día-P)	4.17	1.68	0.10	0.50	6.45	0.12	6.57	8.54

* Estudio de aguas realizado por Soluciones Analíticas S.A. (Tel. 24422422)

** ARI: Agua residual industrial

*** DBO: Demanda biológica de oxígeno.

**** DQO: Demanda química de oxígeno

Cuadro 15. Comparación de la cantidad de contaminantes encontrados en las aguas residuales en cada uno de los procesos y los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales industriales

Parámetro	Límites máximos permitidos por el decreto 236-2006 (*)	Proceso A	Proceso B	Proceso C	Proceso D
DBO (mg/L)	200	2064	924	225	1104
DQO (mg/L)	300	2560	1335	376	1413
DBO/DQO		0.806	0.692	0.598	0.78
Sólidos totales en suspensión (mg/L)	120	934	268	82	558
Sólidos sedimentables (mg/L)	2	15	0	0	6
pH	6 - 9	6.05	6.78	6.79	4.45
Materia flotante	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
Grasas y aceites (mg/L)	30	47	76	6	74
Cloro residual (mg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Caudal Máximo diario (L/min)		1703.25	151.4	302.8	227.1
Caudal promedio (L/h)		9765.3	454.2	2043.9	2043.9
Total de m ³ en 24 horas		231.81	10.75	49.32	50.01
Color u PtCo	30	127	152	73	204
Nitrógeno total (mg/L-N)	40	57	84	22	46
Fósforo total (mg/L-P)	20	18	156	2	10
Coliformes fecales (millones NMP/100 mL)	1000000	110000000	150000	11000000	7500000

* Límites máximos permitidos de contaminantes para descarga de aguas a ríos. Decreto 2066-2005 del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

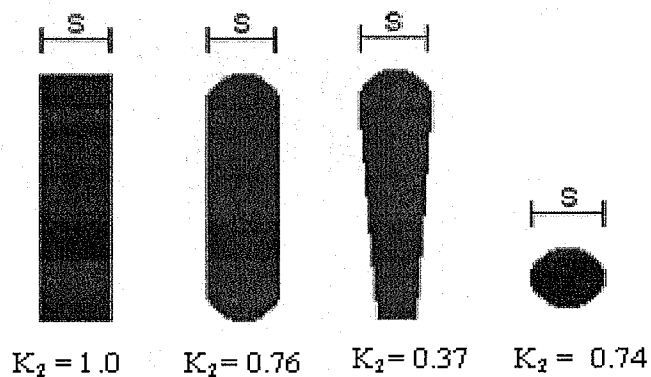
Cuadro 16. Valores del coeficiente K_3

$(z/4)(2/s + 1/h)$	$s/(s+a)$									
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
0.00	245.00	51.50	18.20	8.25	4.00	2.00	0.97	0.42	0.13	0.00
0.20	230.00	48.00	17.40	7.70	3.75	1.87	0.91	0.40	0.13	0.01
0.40	221.00	46.00	16.60	7.40	3.60	1.80	0.88	0.39	0.13	0.01
0.60	199.00	42.00	15.00	6.60	3.20	1.60	0.80	0.36	0.13	0.01
0.80	164.00	34.00	12.20	5.50	2.70	1.34	0.66	0.31	0.12	0.02
1.00	149.00	31.00	11.10	5.00	2.40	1.20	0.61	0.29	0.11	0.02
1.40	137.00	28.40	10.30	4.60	2.25	1.15	0.58	0.28	0.11	0.03
2.00	134.00	27.40	9.90	4.40	2.20	1.13	0.58	0.28	0.12	0.04
3.00	132.00	27.50	10.00	4.50	2.24	1.17	0.61	0.31	0.15	0.05

Fuente: Hernández Lehmann, Aurelio.1997. *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. España. Página 14

Ilustración 10. Coeficiente K_2

Diferentes formas de rejillas



Fuente: Hernández Lehmann, Aurelio.1997. *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. España. Página 14

Cuadro 17. Dimensiones de la trampa de grasas de acuerdo al caudal

RANGO DE CAUDALES (L/s)	VOLUMEN TRAMPA DE GRASAS (m ³)	DIMENSIONES ESTIMADAS (m)		
		PROFUNDIDAD	ANCHO	LARGO
0-1	1.8	1.00	1.00	1.80
0.1	1.8	1.50	0.67	1.20
1-2	3.6	1.50	1.33	2.40
2-3	5.4	2.00	1.50	2.70
3-4	7.2	2.00	2.00	3.60
4-5	8.1	2.00	1.50	2.70
5	9.12	2.00	1.60	2.85

Cuadro 18. Valores de diseño en la decantación primaria

Velocidades ascensionales a caudal medio m/h			
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	1	1.5	2
Decantadores rectangulares	0.8	1.3	1.8
Velocidades ascensionales a caudal máximo m/h			
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	2	2.5	3
Decantadores rectangulares	1.8	2.2	2.6
Tiempo de retención (h)			
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Tiempo de retención p/caudal medio	1.5	2	3
Tiempo de retención p/caudal máximo	1	1.5	2
Dimensiones de decantadores rectangulares			
Decantación primaria	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
L	5	-	90
L/h	5	15	40
L/b	1.5	4.5	7.5
h	1.5	3	3
Dimensiones de decantadores circulares			
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
$\varnothing_1 / \varnothing$	0.05	0.1	0.2
h_1/h	0.25	0.4	0.65
Carga sobre vertedero (m^3/m^2h)			
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	5	9.5	18
Decantadores rectangulares	5	10	26

Fuente: Hernández Lehmann, Aurelio.1997. *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. España. Página 35-38

Cuadro 19. Valores de diseño en la decantación secundaria

Proceso	Carga salida vertedero (m ³ /m ² h)		Carga de sólidos (kg/m ² d)		Tiempo de retención (h)		Velocidad ascensional (m ³ /m ² h)	
	Q _{medio}	Q _{máximo}	Q _{medio}	Q _{máximo}	Q _{medio}	Q _{máximo}	Q _{medio}	Q _{máximo}
Convencional	5.7	10.5	2.5	6.0	3.0	2.0	0.8	1.5
Alta carga	6.5	11.5	5.6	9.5	2.5	1.5	1.2	2.0
Aireación escalonada	6.5	11.5	2.8	6.2	2.0	1.5	1.4	2.0
Contacto estabilización	6.5	11.5	2.2	5.5	3.2	1.6	1.0	2.0
Aireación estabilización	4.0	9.0	4.2	7.0	3.6	1.7	0.7	1.5

Fuente: Hernández Lehmann, Aurelio.1997. *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. España. Página 64

Cuadro 20. Tiempos de residencia típicos y gradientes promedios de velocidad para mezclado y floculación en el tratamiento de aguas residuales.

Proceso	Descripción	Rango de valores	
		Tiempo de residencia	Valor de G, Gradiente promedio de velocidad s ⁻¹
Mezclado	Velocidad típica de la operación de mezclado en el tratamiento de aguas residuales	5 - 30 s	500 – 1500
	Rapidez de mezclado para un efectivo contacto inicial y dispersión de los floculantes químicos	< 1 s	1500 – 6000
	Rapidez de mezclado de los floculantes químicos en contacto con un proceso de filtración	< 1 s	2500 – 7500
Floculación	Operación típica de floculación utilizada en el tratamiento de aguas residuales	30 – 60 min	50 – 100
	Floculación en un proceso de filtración directa	2 – 10 min	25 – 150

Fuente: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*. 4ta ed. New York, McGraw-Hill. Página 348.

Cuadro 21. Valores típicos importantes sobre propiedades físicas y químicas del gas metano producido en un reactor UASB

Gas metano			
Parámetro	Unidades	Rango de valores	Valor típico
Producción a 35 °C	m ³ /kg DQO	0.4	0.4
Densidad a 35 °C	kg/m ³	0.6346	0.6346
Contenido de gas	%	60 – 70	65
Contenido de energía	kJ/g	50.1	50.1

Fuente: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*. 4ta ed. New York, McGraw-Hill. Página 1000.

Cuadro 22. Carga volumétrica orgánica (L_{org}) recomendada en función de la temperatura para un 85-95 % de remoción de DQO.

Temperatura °C	Carga volumétrica, Kg sólidos DQO/m ³ .d			
	Aguas residuales con ácidos grasos volátiles		Aguas residuales sin contenido de ácidos grasos volátiles	
	Rango	Típico	Rango	Típico
15	2 - 4	3	2 - 3	2
20	4 - 6	5	2 - 4	3
25	6 - 12	6	4 - 8	4
30	10 - 18	12	8 - 12	10
35	15 - 24	18	12 - 18	14
40	20 - 32	25	15 - 24	18

Fuente: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*. 4ta ed. New York, McGraw-Hill. Página 1009.

Cuadro 23. Velocidad de flujo de llenado y altura recomendada para un reactor UASB.

Tipo de agua residual	Velocidad de flujo de llenado, m/h		Altura del reactor, m	
	Rango	Típico	Rango	Típico
DOQ con solubilidad cercana al 100 %	1.0-3.0	1.5	6-10	8
DQO parcialmente soluble	1.0-1.25	1.0	3-7	6
Aguas domesticas	0.8-1.0	0.7	3-5	5

Fuente: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*. 4ta ed. New York, McGraw-Hill. Página 1009.

XII. GLOSARIO

Para interpretar y aplicar este reglamento se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

Afluente: Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

Aguas crudas: Aguas residuales que no han sido tratadas.

Aguas residuales municipales: Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.

Aguas residuales: Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

Aguas servidas: Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

Aireación: Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido)

Ambiente anaerobio: Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Biodegradación: Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

Carga de diseño: Producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo, (M/T)

Carga orgánica: Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d)

Carga superficial: Caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ día})$, $\text{kg DBO}/(\text{ha día})$).

Caudal máximo horario: Caudal a la hora de máxima descarga.

Clarificador: Tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual.

Cloración: Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

Coliformes: Bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5°C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

Compensación y homogeneización: Operación unitaria usada para evitar las descargas violentas, aplicables a descargas de origen industrial en el cual se almacena el desecho para aplanar el histograma diario de descarga y para homogeneizar la calidad del desecho.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda de oxígeno: Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Desarenadotes: Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

Descomposición anaerobia: Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

Desechos industriales: Desechos líquidos de la manufactura de un producto específico. Usualmente son más concentrados y tienen mayores variaciones de caudal que los desechos domésticos.

Deshidratación de lodos: Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta.

Digestión anaerobia: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

Digestión: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

Eficiencia de tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Efluente final: Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Laguna de estabilización: Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, SS, algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes, etc).

Lodo biológico: Lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales.

Lodos activados: Procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.

Metales pesados: Son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a $5,0 \text{ g/cm}^3$ por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc.

Mortalidad de bacterias: Medida de descomposición de la población bacteriana. Normalmente se expresa por un coeficiente cinético de primer orden.

Muestra puntual: Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

Oxígeno disuelto: Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.

pH: Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

Planta de tratamiento (de agua residual): Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

Planta piloto: Planta de tratamiento a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de la tratabilidad de un desecho líquido o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso.

Pretratamiento: Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

Proceso biológico: Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB): Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

Requisitos de oxígeno: Cantidad de oxígeno requerida en la estabilización aerobia de la materia orgánica para reproducción o síntesis celular y metabolismo endógeno.

Sedimentación: Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica.

Sistemas de agitación mecánica: Sistemas para mezclar el contenido de digestores por medio de turbinas.

Sólidos activos: Parte de los sólidos volátiles en suspensión que representan los microorganismos.

Sólidos no sedimentables: Materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

Sólidos sedimentables: Materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

Tanque de aireación: Cámara usada para inyectar aire dentro del agua.

Tanque de compensación: Tanque utilizado para almacenar y homogeneizar el desecho, eliminando las descargas violentas.

Tanque Imhoff: Tanque compuesto de tres cámaras en el cual se realizan los procesos de sedimentación y digestión.

Tasa de carga volumétrica: Corresponde a los kilogramos de sólidos volátiles adicionados por día y por metro cúbico de capacidad de digestor.

Tiempo de retención hidráulica: Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

Tratamiento anaerobio: Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento avanzado: Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico usado para alcanzar un grado de tratamiento superior al de tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros, como remoción de sólidos en suspensión, complejos orgánicos disueltos, compuestos inorgánicos disueltos o nutrientes.

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

Tratamiento primario: Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.

Tratamiento secundario: Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

UASB (Ver reactor anaerobio de flujo ascendente).

Vertederos: Son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua de los diferentes caudales.

Prueba de jarras: Las pruebas en jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también con objeto de determinar las velocidades de sedimentación y floculación para el diseño de tanques de sedimentación y floculadores. Además permite conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa.

