

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, PRESUPUESTO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO
DE VILLA NUEVA.**

**TESIS
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POR
VÍCTOR MANUEL ARRIAZA RUIZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

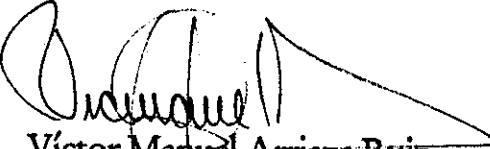
Guatemala, febrero de 1,999

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**DISEÑO, PRESUPUESTO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES PARA EL CASCO URBANO DEL
MUNICIPIO DE VILLA NUEVA.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 10 de abril de 1997.


Víctor Manuel Arriaza Ruiz

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

Decano:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
Vocal primero:	Ing. José Francisco Gómez Rivera
Vocal segundo:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Vocal tercero:	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
Vocal cuarto:	Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera
Vocal quinto:	Br. José Enrique López Barrios
Secretaria:	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Julio Ismael González Podszueck
Examinador:	Ing. Ruben Rodolfo Pérez Oliva
Examinador:	Ing. Tomas Moscoso Caminade
Examinador:	Ing. Carlos Enrique Penados Baldizon
Secretaria:	Ing. Francisco Javier González López

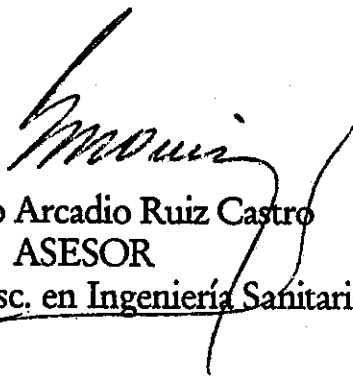
Guatemala 20 de enero de 1999

Señor
Ingeniero
Carlos Humberto Rivera Pómes
Jefe del Departamento de Hidráulica
Facultad de Ingeniería
Ciudad Universitaria, zona 12
Su Despacho.

Ingeniero Rivera:

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que el trabajo de Tesis titulado **DISEÑO, PRESUPUESTO Y MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CASCO URBANO DE EL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA**, desarrollado por el Bachiller Víctor Manuel Arriaza Ruiz, de acuerdo al protocolo aprobado por la Escuela de Ingeniería Civil el 10 de abril de 1997, ha sido revisado por el suscrito en calidad de Asesor, nombrado para tal efecto, contando con mi aceptación.

Atentamente



Guillermo Arcadio Ruiz Castro
ASESOR
Ing. Civil y Msc. en Ingeniería Sanitaria.



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala 29 de enero de 1998

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Después de analizar y revisar el trabajo de tesis titulado **DISEÑO, PRESUPUESTO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CASCO URBANO DE EL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA**, del estudiante universitario Víctor Manuel Arriaza Ruiz con el carnet No. 86 - 12513 y actuando como Jefe del Departamento de Hidráulica, tengo a bien informar que el mismo cumplió con todos los requisitos de índole técnico en forma satisfactoria y a cabalidad por lo que se da por aprobado.

En base a lo anterior me permito sugerir dicho trabajo de tesis para investigaciones y proyectos futuros en plantas de tratamiento para aguas residuales con tecnologías apropiadas.

Atentamente,
ID Y ENSEÑADA TODOS

Dr. Carlos Humberto Rivera Pomés
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Guillermo Arcadio Ruiz Castro y del Jefe del Departamento de Hidráulica Dr. Carlos Humberto Rivera Pomés, del trabajo de tesis del estudiante Víctor Manuel Arriaza Ruiz, titulado DISEÑO, PRESUPUESTO Y MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, febrero de 1,999

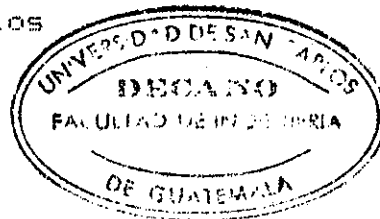


FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, al trabajo de tesis **DISEÑO, PRESUPUESTO Y MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA**, del estudiante Victor Manuel Arriaza Ruiz, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, febrero de 1,999

AGRADECIMIENTOS:

- A Dios Todopoderoso y la Santísima Virgen María
- Al Ingeniero Guillermo Arcadio Ruiz Castro por su valiosa asesoría al presente trabajo de Tesis.
- A Ingrid del Rosario Castillo Cifuentes por el amor, comprensión y colaboración para que este trabajo sea hoy una realidad.
- Al Ingeniero Joram Gil por la confianza y el apoyo que me ha brindado.

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES:

Elías Antonio Arriaza Vasquez
Myrna Lucia Ruiz Castro de Arriaza
Por todo el amor, sacrificio y comprensión que
me han brindado a lo largo de mi vida.

MIS HERMANAS:

Claudia Yolanda, Lucia Adriana y Mirna Gisela
Arriaza Ruiz.

MI HERMANO Y AMIGO:

Rigoberto Herrera Ardón (Q.E.P.D.)
Por haberme brindado todo su apoyo, pero
especialmente su amistad y cariño.

LA FAMILIA RUIZ ORDOÑEZ:

Especialmente a Willy Ruiz por toda la confianza
depositada en mi.

GUILLERMO LEÓN SUEMATSU:

Por trasmitirme todos sus conocimientos y
brindarme su amistad.

MIS AMIGOS DE FACULTAD Y TRABAJO:

Especialmente a Carlos López y Carla Orosco de
Quijivix.

CARE Guatemala:

Institución que me ha permitido desarrollarme
como persona y como profesional al trabajar por
las comunidades mas necesitadas del país.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

ÍNDICE GENERAL

Página

GLOSARIO	I
INTRODUCCIÓN	III
HIPÓTESIS	IV
OBJETIVOS	V
GENERAL	V
ESPECÍFICOS	V
CAPÍTULO I	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.1.1 Información General	1
1.1.2 Servicios Existentes en la Población	1
1.1.2.1 Agua y Alcantarillado	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	3
CAPÍTULO II	4
2.1 MARCO CONCEPTUAL	4
2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	4
2.3 ANTECEDENTES	4
2.4 DEFINICIÓN	5
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	5
2.5.1 Parámetros Químicos:	6
2.5.1.1 Oxígeno Disuelto:	6
2.5.1.2 Nitrógeno:	6
2.5.1.3 Fósforo:	6
2.5.1.4 Carbono:	7
2.5.1.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno :	7
2.5.1.6 Demanda Química de Oxígeno:	7
2.5.1.7 Demanda Total de Oxígeno:	7
2.5.1.8 Metales Pesados:	7
2.5.2 Parámetros Físicos:	8
2.5.2.1 Potencial de Hidrógeno (pH):	8

2.5.3	Características Microbiológicas:	8
2.5.3.1	Clasificación de los Microorganismos:	8
2.5.3.1.1	Bacterias:	8
2.6	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	9
2.6.1	Procesos de Tratamiento:	9
2.6.1.1	Procesos Físicos:	9
2.6.1.2	Procesos Químicos:	9
2.6.1.3	Procesos Biológicos:	9
2.6.2	Tipos de Tratamiento:	9
2.6.2.1	Tratamientos Preliminares o Pre-Tratamiento:	9
2.6.2.2	Tratamiento Primario:	9
2.6.2.3	Tratamiento Secundario:	10
2.6.2.4	Tratamiento Terciario:	10
2.7	DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES	10
2.7.1	Pre-Tratamiento:	10
2.7.1.1	Rejillas o Cribas de Barras:	10
2.7.1.2	Desarenador:	10
2.7.2	Tratamiento Primario:	10
2.7.2.1	Fosa Séptica:	10
2.7.2.2	Tanques Imhoff:	11
2.7.2.3	Sedimentadores Primarios:	11
2.7.2.4	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA):	11
2.7.2.5	Coagulación o Floculación:	11
2.7.3	Tratamiento Secundario:	12
2.7.3.1	Filtro Anaerobio:	12
2.7.3.2	Reactor Tubular de Película Fija:	12
2.7.3.3	Filtros Percoladores:	12
2.7.3.4	Biodiscos:	13
2.7.3.5	Lagunas de Estabilización:	13
2.7.3.5.1	Lagunas Anaerobias:	13
2.7.3.5.2	Lagunas Aerobias:	14
2.7.3.5.3	Lagunas Facultativas:	14
2.7.3.5.4	Lagunas Aireadas:	14
2.7.3.5.5	Lodos Activados:	14
2.7.3.5.6	Aireación Extendida:	15
2.7.3.5.7	Zanjas de Oxidación:	15
2.7.4	Desinfección:	15
2.7.5	Tratamiento Terciario:	15
2.8	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	16
CUADRO 1		17
CAPÍTULO III		22
3.1	PARÁMETROS DE DISEÑO	22
3.1.1	Parámetros Sanitarios:	22
3.1.1.1	Introducción:	22
3.1.1.2	Legislación Vigente:	22

CUADRO 2	22
CUADRO 3	23
PARÁMETROS MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN	
3.1.2 Parámetros Estructurales:	23
3.1.2.1 Rellenos:	23
3.1.2.2 Compactación:	24
3.1.2.3 Afirmado:	24
3.1.2.4 Estabilizado:	24
3.1.2.5 Pavimentos:	25
3.1.2.6 Impermeabilización:	25
3.1.3 Parámetros Hidráulicos:	26
3.1.3.1 Canales, Tuberías de Interconexión y Obras de Arte:	26
3.1.3.2 Canal de Rejas:	26
3.1.3.3 Medidores y Repartidores de Caudal:	26
3.1.3.4 Especificaciones para Lagunas de Estabilización:	27
3.1.3.4.1 Lagunas Anaerobias:	27
3.1.3.4.2 Lagunas Facultativas:	27
3.1.3.4.3 Lagunas para Remoción de Patógenos:	28
CAPÍTULO IV	30
<hr/>	
4.1 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	30
4.1.1 Normas Generales para el Diseño de Sistemas de Lagunas:	30
4.1.2 Parámetros de Diseño:	32
4.1.2.1 Población de Diseño:	32
4.1.2.2 Cálculo del Caudal de Diseño:	32
4.1.3 Diseño del Pre-Tratamiento:	33
4.1.3.1 Caja Derivadora de Demasías:	33
4.1.3.1.1 Diseño Hidráulico:	34
4.1.3.2 Canal de Rejas:	35
4.1.3.2.1 Diseño Hidráulico:	35
4.1.4 Diseño del Tratamiento Primario - Lagunas Anaerobias o Anaeróbicas:	37
4.1.5 Tratamiento Secundario:	38
4.1.6 Tratamiento Terciario o de Maduración:	38
DIAGRAMA DE FLUJO DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	39
ALGORITMO DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO	40
ESQUEMA DEL SISTEMA PROPUESTO	41
CAPÍTULO V	42
<hr/>	
5.1 USO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO	42
5.1.1 Antecedentes:	42
5.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos:	43

5.1.3	Restricciones en la Producción Agropecuaria:	44
5.1.4	Técnicas de Uso de Aguas Residuales y Lodos:	45
5.1.4.1	Las Aguas Residuales en la Agricultura:	45
CUADRO 4		46
FACTORES QUE AFECTAN LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO Y MEDIDAS NECESARIAS CUANDO SE EMPLEAN AGUAS RESIDUALES		
5.1.4.2	Los Lodos en la Agricultura:	46
5.1.5	Aspectos Técnicos de la Agricultura con Aguas Residuales:	47
5.1.5.1	Condiciones Básicas para un Riego Eficiente:	47
5.1.5.2	Requerimientos de Calidad de Agua:	47
5.1.5.3	Ventajas y Limitaciones del Uso de Aguas Residuales:	48
5.1.5.4	Aporte de Nutrientes:	48
5.1.6	Aspectos Técnicos de la Acuicultura con Aguas Residuales:	48
5.1.6.1	Descripción del Proceso Productivo:	49
5.1.7	Aspectos Técnicos de la Reforestación con Aguas Residuales:	49
5.1.7.1	Alternativas de Producción Forestal:	49
5.1.7.2	Viveros Forestales:	50
5.1.7.3	Bosques de Producción:	50
5.1.8.	Parámetros de Calidad para el Uso de Aguas Residuales	51
	- Guías de Calidad de Efluentes para la Protección de la Salud -	51
5.1.8.1	Directrices de la Organización Mundial para la Salud para la Agricultura:	51
CUADRO 5		52
DIRECTRICES RECOMENDADAS SOBRE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EMPLEADAS EN AGRICULTURA		
5.1.8.2	Directrices Sanitarias para la Acuicultura:	52
CAPÍTULO VI		54
<hr/>		
6.1	CUANTIFICACIÓN Y PRESUPUESTO	54
CAPÍTULO VII		56
<hr/>		
7.1.1	Descripción del Proyecto:	56
7.1.2	Arranque de la Planta:	56
7.1.2.1	Lagunas Anaerobias:	56
7.1.2.2	Lagunas Facultativas:	57
7.1.2.3	Olores Iniciales:	57
7.1.3	Mantenimiento Rutinario:	57
7.1.3.1	Canal de Rejas:	58
7.1.3.2	Material Flotante:	58
7.1.3.3	Césped, Vegetación y Maleza:	58
7.1.3.4	Diques:	58
7.1.3.5	Mosquitos, Roedores, Arácnidos y Otros Animales:	59
7.1.3.6	Cercos y Caminos de Acceso:	59
7.1.3.7	Muestreo:	59
7.1.3.8	Medidas de Caudal:	59

7.1.4	Extracción y Disposición Final de Lodos:	59
CUADRO 6		60
ACCIONES DE CONTROL DE MANTENIMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO		
7.1.5	Evaluación Operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas:	60
CUADRO 7		62
PARÁMETROS OPERACIONALES PARA LA EVALUACIÓN DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN		
CUADRO 8		63
MEDICIONES SUGERIDAS EN EVALUACIÓN DE RUTINA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN		
7.1.6	Administración del Sistema:	64
<u>CAPÍTULO VIII</u>		65
8.1	IMPACTO AMBIENTAL Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN	65
8.1.1	Impacto Ambiental:	65
8.1.1.1	Impactos Positivos:	65
8.1.1.2	Impactos Negativos:	66
8.1.1.3	Medidas de Mitigación:	66
8.1.1.3.1	Medidas de Mitigación para los Malos Olores:	66
8.1.1.3.2	Eliminación de Roedores e Insectos:	67
8.1.1.3.3	Contaminación del Nivel Freático:	67
<u>CONCLUSIONES</u>		VI
<u>RECOMENDACIONES</u>		VII
<u>REFERENCIAS</u>		VIII
<u>BIBLIOGRAFIA</u>		IX
<u>ANEXO</u>		
LISTADO DE PLANOS		

GLOSARIO

- **Acuicultura** Conjunto de técnicas de aprovechamiento de los recursos acuáticos marinos o fluviales (animales y vegetales).
- **Afluente** Se entiende como el caudal de agua que ingresa a una de las unidades.
- **Aglomerar** Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias, para dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físicos.
- **Agua Residual** Es el agua que se genera después de ser utilizada por el ser humano, a esta se le ha agregado una serie de contaminantes nocivos para la salud y el ambiente.
- **Aguas Grises** Es el agua residual producida de lavaderos, duchas, pilas, Etc., su característica principal es que contiene grandes cantidades de jabón.
- **Aguas Negras** Éstas son las producidas en los inodoros y migitorios, contienen sólidos y elementos patógenos que son expulsados por el cuerpo humano.
- **Aminoácido** Sustancia química orgánica en cuya composición molecular entra un grupo amínico y otro carboxílico.
- **Bacteria** Organismo unicelular, microscópico, que no necesita luz para sus procesos de vida.
- **Biodegradable** Sustancias susceptibles de sufrir procesos en los cuales los compuestos químicos son destruidos por la acción de organismos vivos.
- **Biomasa** Masa del conjunto de organismos que viven en un medio determinado.
- **Bioquímica** Ciencia que estudia la estructura química de los seres vivos y los fenómenos que acompañan las diversas manifestaciones de la vida.
- **Calicatas** Perforaciones que se realizan para determinar la existencia de minerales o la naturaleza del subsuelo.
- **Comensalismo** Seres vivos que viven y se alimentan junto a otros sin daño para éstos.

- **Contaminación Ambiental** Degradación del ambiente causada por el vertimiento de productos tóxicos, provocados por la actividad humana.
- **Cuerpo Receptor** Accidente geográfico en el cual son vertidas las aguas residuales.
- **Efluente** Se entiende como el caudal que está saliendo de una de las unidades de tratamiento.
- **Fermentar** Proceso químico producido por la acción de un fermento, que aparece íntegramente al final de la serie de reacciones químicas sin haberse modificado.
- **Helminto** Gusano parásito del intestino del hombre y de los animales.
- **Hidrolizar** Desdoblamiento de la molécula de ciertos compuestos orgánicos, ya sea por exceso de agua o por la presencia de una cantidad de fermento o de ácido.
- **Inhibidor** Proceso o elemento que disminuye la velocidad de una reacción.
- **Material Coloidal** Material formado por procesos químicos de partículas pequeñas (milimicras a decimicras) que existen en el agua residual.
- **Metabolizar** Conjunto de reacciones bioquímicas que se producen en todo ser vivo mediante las cuales se elaboran ciertas sustancias o se degradan liberando energía.
- **Microorganismos Patógenos** Microorganismos que originan y desarrollan las enfermedades.
- **Oxidación** Fijación de oxígeno por un elemento o pérdida de electrones por este elemento.
- **Pozo de Absorción** Elemento estructural construido para infiltrar el agua al subsuelo.
- **Virus** Agentes microscópicos infecciosos causantes de muchas enfermedades.

INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo de tesis se presenta el Diseño, Presupuesto, Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento para las Aguas Residuales del Casco Urbano del Municipio de Villa Nueva.

Se considera que la alternativa técnica presentada, "Tratamiento por un Sistema de Lagunas de Estabilización" es la más apropiada en nuestro medio, ya que con este tipo de "tecnología apropiada" como se le conoce, se logra reducir considerablemente la cantidad de elementos patógenos existentes en las aguas residuales domiciliarias, sin necesidad de utilizar ningún tipo de tratamiento químico o con energía eléctrica, lo que disminuye su costo de operación y mantenimiento.

Las lagunas de estabilización trabajan en base a su período de retención, por lo que el principal aspecto negativo en el momento de tomar la decisión de adoptar este tipo de tecnología, es la cantidad de área requerida para su construcción.

Se seleccionó el Casco Urbano del Municipio de Villa Nueva, por encontrarse ubicado dentro del área de influencia del Lago de Amatitlán, el cual es de importancia nacional ya que es un centro recreativo y de atracción turística de gran importancia.

Además, existe la voluntad política, por parte de las autoridades municipales, para realizar este proyecto que no sólo es de beneficio para el municipio, sino que para todo el país, ya que será el primero de esta magnitud y tecnología, el cual servirá de ejemplo para otros municipios.

HIPÓTESIS

Mediante la utilización de Lagunas de Estabilización para el tratamiento de las aguas residuales domésticas se logrará disminuir en gran parte la cantidad de elementos patógenos, esto minimiza los daños a la salud y al medio ambiente y permite la reutilización de las aguas tratadas para el riego de cultivos y hortalizas.

OBJETIVOS

GENERAL

Proponer una alternativa apropiada, para el tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas del Casco Urbano del Municipio de Villa Nueva.

ESPECÍFICOS

1. Diseñar una alternativa de tratamiento para las aguas residuales domésticas en donde la Operación y Mantenimiento de este sea de bajo costo.
2. Motivar el uso de las aguas tratadas para el riego de cultivos.
3. Mediante el uso de tecnología apropiada presentar una alternativa de tratamiento con un alto grado de eficiencia en remoción de patógenos.

CAPÍTULO I

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Información General

La cabecera municipal de Villa Nueva se encuentra al Sur de la Ciudad Capital. Se localiza en las siguientes coordenadas geográficas 14°31'32" latitud norte y 90°35'15" longitud oeste del Meridiano de Greenwich.

En la cabecera municipal, existe un Banco de Marca establecido por la Dirección General de Cartografía, donde indica que la población se encuentra a una elevación de 1,330.24 mts. sobre el nivel del mar, por lo que su clima es templado.

El municipio de Villa Nueva colinda al Norte con la Ciudad Capital, al Sur con el municipio de Amatitlán y al Este con el municipio de San Miguel Petapa, éstos pertenecientes al departamento de Guatemala, y al Oeste con el municipio de Santa Lucía Milpas Altas del departamento de Sacatepéquez.

La cabecera municipal de Villa Nueva se localiza a 17 kilómetros de la Ciudad Capital por la Ruta Nacional 3 ó CA-9, la cual se encuentra asfaltada. Es considerada como una municipalidad de tercera categoría.

La cabecera municipal se encuentra ubicada en la meseta situada entre el río "Platanitos", que corre al Sur de Poniente a Oriente y el río "Villa Lobos" situado al Norte de Poniente a Oriente. Estos ríos son afluentes del Lago de Amatitlán.

1.1.2 Servicios Existentes en la Población

Como toda comunidad dentro del Área Metropolitana, Villa Nueva posee servicios básicos necesarios como lo son: agua, electricidad, buses urbanos y extraurbanos, escuelas, hospitales, teléfono, estación de policía, centro de salud, Etc.

1.1.2.1 Agua y Alcantarillado

El sistema existente de alcantarillado sanitario se inició a construir en el año de 1960 por parte de la Dirección General de Obras Públicas y se decidió ampliarlo en el año de 1984 por iniciativa municipal, desde esa época el sistema ha ido creciendo, uniéndose todas sus descargas hacia una principal (desfogue central), la cual en la actualidad no está siendo utilizado por el 100% de la población debido a la falta de un tratamiento, antes de descargar al río "Villa Lobos".

Es por esto que el uso de pozos de absorción y/o pequeñas descargas a flor de tierra se ha convertido en algo normal dentro de la población, lo cual acentúa la problemática de contaminación ambiental.

El sistema de agua abastece a la mayoría de los sectores del área urbana. Pero debido al crecimiento poblacional que ha experimentado el municipio, en los últimos años las colonias nuevas han tenido que implementar sistemas propios de abastecimiento de agua potable mediante la perforación de pozos profundos y bombeo.

Es por esta razón que la napa freática del municipio de Villa Nueva se encuentra súmamente contaminada, esto provoca que el agua extraída de los pozos para consumo humano esté igualmente contaminada y esto produzca riesgos a la salud.

Según el proyecto de agua elaborado en la Municipalidad, la dotación por habitante por día es de 220 lts., de éste se asume una pérdida del 20% del caudal de agua por pérdidas en fugas, chorros y servicios públicos. De estos 220 lts. un 70 % se transforma en agua residual, lo que arroja un caudal por persona y por día de 150 lts.

El servicio de agua que brinda la municipalidad es de media paja o sea 30 m³/mes/vivienda por lo que el consumo promedio por habitante es de 150 litros/día.

Debe de considerarse también que el servicio actual de agua es irregular, por lo que el abastecimiento es alterno, aproximadamente cada 2 días en algunos sectores de la población.

Según información del Departamento de Aguas y Drenajes de la Municipalidad de Villa Nueva, actualmente se encuentran instaladas aproximadamente 2,750 conexiones domiciliarias, de las cuales sólo están siendo utilizadas aproximadamente 240*.

1.2 ANTECEDENTES

Debido a la cercanía del Municipio de Villa Nueva a la Ciudad Capital, el crecimiento poblacional del municipio ha sido acelerado y en forma desordenada. Esto ha provocado que la prestación de los servicios básicos a la comunidad, no sea el adecuado.

En la actualidad las aguas residuales son dispuestas en forma individual por medio de pozos de absorción, sin recibir ningún tipo de tratamiento primario, esto provoca que los pozos se llenen rápidamente, siendo necesario la construcción de más pozos, el problema principal es que en la mayoría de los terrenos ya no se cuenta con el espacio suficiente, por lo que los habitantes han tomado la decisión de disponer sólo las aguas negras hacia los pozos de absorción y las aguas grises las descargan a flor de tierra en las calles, lo que provoca grandes problemas de ornato y salud.

Debido a la gran concentración de habitantes en el municipio, ésta ya no es la alternativa más apropiada para la disposición de las aguas, ya que se está contaminando la napa freática y a la vez se está creando un efecto de colmena en el suelo del sector, lo que provoca derrumbes en el área, poniendo en riesgo la vida de las personas, como ya ha sucedido en situaciones anteriores.

Las autoridades municipales preocupadas por la situación descrita anteriormente se han dedicado a construir el sistema de drenajes sanitarios para el casco urbano del municipio y existen aproximadamente 18,500 metros lineales de tubería instalada, que está siendo parcialmente

* Información proporcionada por el Departamento de Drenajes de la Municipalidad de Villa Nueva.

utilizada. En su mayoría el sistema ha sido construido con la participación comunitaria en el renglón de mano de obra, por lo que existe presión por parte de la comunidad para utilizarlo.

Es por esta razón es que la Municipalidad ha empezado a autorizar el uso de los sistemas, siendo de gran alivio para los habitantes del casco urbano, pero provoca un gran problema tanto para las comunidades aledañas al punto de descarga, como al Río "Villa Lobos" cuerpo receptor de ésta.

1.3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Por un lado, la presión ejercida por las personas para poder utilizar los sistemas de alcantarillados construidos y por otro, la presión que realiza la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán -AMSA-, institución encargada de velar por la protección de la cuenca del lago, por no permitir el vertimiento de descargas crudas al Río Villa Lobos, principal afluente del Lago de Amatitlán.

La Municipalidad tiene como necesidad prioritaria la construcción de una Planta de Tratamiento para las Aguas Residuales domésticas en busca de la protección del medio ambiente y poder brindarle el servicio a la comunidad.

Este apoyo ha consistido en la compra del terreno requerido para la construcción del sistema, el cual se considera un gran logro, en vista de los malos antecedentes que existen en el país en relación al mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento que se han construido por la mala operación y mantenimiento que se les da a los mismos. Existe también la voluntad política de conseguir los fondos necesarios para la construcción del sistema y la operación y mantenimiento del mismo.

En lo que respecta a contaminación, la situación es crítica, debido a que ya se encuentran en servicio los sistemas existentes, lo que está perjudicando cada vez más al ya contaminado Río "Villa Lobos" y por ende al "Lago de Amatitlán".

CAPÍTULO II

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Toda comunidad genera tanto residuos sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismo (aguas residuales) es esencialmente el agua que se desprende de la comunidad, una vez ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos comerciales, a los que pueden agregarse eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

Si se permite la acumulación y estancamiento de agua residual, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases mal olientes. A este hecho cabe añadir la frecuente presencia en el agua residual cruda, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal. También suelen contener nutrientes, que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas y pueden incluir también compuestos tóxicos. Por lo anterior, la evacuación inmediata y sin molestias de las aguas residuales de sus fuentes de generación, es no sólo deseable, sino también necesaria en toda sociedad.

2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales recogidas en comunidades y municipios deben ser conducidas, en última instancia, a cuerpos receptores o al mismo terreno. La compleja pregunta acerca de qué contaminantes contiene el agua residual (y a qué nivel) debe ser eliminada de cara a la protección del entorno, requiere una respuesta específica en cada caso en concreto. Para establecer dicha respuesta es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso y aplicar tanto los conocimientos científicos, como la experiencia previa de ingeniería, respetando la legislación y las normas, tanto nacionales como internacionales, reguladoras de la calidad de los cursos de aguas.

2.3 ANTECEDENTES

Aunque la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempos antiguos, la recolección de las aguas residuales no aparece sino hasta finales del siglo XIX, mientras que el tratamiento sistemático de estas aguas data de finales del siglo pasado y principios del presente. El desarrollo de la teoría del 'germen' a cargo de Koch y Pasteur, en la segunda mitad del siglo XIX, marcó el inicio de una nueva era en el campo del saneamiento. Hasta ese momento, se había profundizado poco en relación a los contaminantes y enfermedades y no se había aplicado al tratamiento de las aguas residuales la 'bacteriología', que entonces estaba en sus inicios.

2.4 DEFINICIÓN

Se conoce como operaciones unitarias aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza en base de procesos químicos o biológicos se conoce como procesos unitarios. En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí para construir los llamados tratamiento primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado).

El tratamiento primario contempla el uso de operaciones físicas tales como las rejillas, tanques de sedimentación y flotación para la eliminación de los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual. En el tratamiento secundario se realizan procesos biológicos y químicos, los que se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica y elementos patógenos (virus, bacterias y helmintos). En el tratamiento terciario se emplean combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes, tales como nitrógeno y fósforo, cuya reducción con el tratamiento secundario no es significativo.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto de explotación de las infraestructuras tanto de recolección, como de tratamiento y evacuación de las aguas, para la gestión de la calidad ambiental.

El agua residual cruda de origen doméstico consiste aproximadamente de 99.9% de agua natural. Esto puede parecer sorprendente, pero en la mayoría de los casos las impurezas constituyen un 0.1% del peso total de las aguas residuales.

Las aguas residuales contienen en solución una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos y algunos sufren transformaciones en el medio acuático, debido a la acción bioquímica de los microorganismos o por reacciones químicas, mientras que otros se acumulan, ya que no están sujetos a tales transformaciones.

Debido a esto, la caracterización de las aguas residuales a ser tratadas o dispuestas a un cuerpo receptor, debe incluir información de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes, su biodegradabilidad, su posible transformación por medio de métodos físico-químicos y su potencial tóxico e inhibidor de la fisiología de los microorganismos.

La cantidad o la concentración de compuestos orgánicos presentes en las aguas, generalmente se cuantifica o se mide en términos de la demanda de oxígeno que es necesario para su estabilización o bien en términos de su contenido de carbono. En el primer caso, se utilizan los ensayos de laboratorio de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Total de Oxígeno (DTO). En el segundo caso se usa el ensayo de Carbón Orgánico Total (COT).

La caracterización de los compuestos inorgánicos debe incluir aquellos ensayos y pruebas de laboratorio que proporcionen información sobre el contenido de las sustancias que requieren un tratamiento preliminar especial, tales como: sólidos en suspensión, sólidos

volátiles, sólidos sedimentables, potencial de hidrógeno, acidez, alcalinidad, Etc. También se debe evaluar la concentración de compuestos nutrientes como fósforo y nitrógeno en sus diferentes estados de oxidación y por último, se debe evaluar la presencia y concentración de compuestos tóxicos tales como metales pesados, Etc. y de compuestos inhibidores o que interfieren con el tratamiento, tales como cobre, cloruros y sulfatos.

2.5.1 Parámetros Químicos:

2.5.1.1 Oxígeno Disuelto:

La presencia del oxígeno disuelto en el agua es una condicionante fundamentalmente para el desarrollo de la vida acuática, vegetal y animal, evitando la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Las fuentes de oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis de las algas. Su remoción se debe a la respiración de los vegetales, demana química de oxígeno de materiales orgánicos y sedimentos, deaireación, sobresaturación y reducción de orgánicos.

La baja solubilidad del oxígeno es el principal factor que limita la capacidad de purificación de las aguas naturales y obliga a efectuar tratamiento de las aguas residuales para remover la materia contaminante, antes de descargar en los cuerpos receptores.

2.5.1.2 Nitrógeno:

El nitrógeno en las aguas residuales se presenta en cuatro tipos de compuestos: amoníaco, nitrógeno orgánico, nitratos y nitritos. El nitrógeno de la biomasa de las aguas residuales, que se encuentra en forma de proteínas, es hidrolizado formando los aminoácidos que, por acción de las bacterias, pasan a transformarse en amoníaco, luego en nitrito y por último en nitrato.

Las bacterias nitrificantes autotróficas, específicamente los nitrosomonas, son sensibles a los valores de potencial de hidrógeno altos o bajos, los cuales inhiben su crecimiento, particularmente a valores menores de 7 y mayores de 9. Es posible que la presencia de amoníaco libre y el ácido nitroso también inhiban el desarrollo de los organismos nitrificantes, debido a la diferencia del potencial de hidrógeno que pueden causar entre el interior y exterior de la célula.

Al igual que las bacterias autotróficas, las algas metabolizan el amoníaco y el nitrato, pero prefieren el amoníaco, el cual debe haberse consumido antes que se comience a utilizar el nitrato para la síntesis celular.

2.5.1.3 Fósforo:

Análogamente al nitrógeno, el fósforo es un nutriente de gran importancia para el crecimiento y reproducción de los microorganismos que participan en la estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales. El fósforo aparece en dos formas: en compuestos orgánicos (proteínas) y en compuestos minerales (polifosfatos y ortofosfatos). Los polifosfatos se encuentran principalmente en los residuos que contienen detergentes sintéticos (no biodegradables).

En el caso de las aguas residuales domésticas, el contenido de fósforo es preocupante no por insuficiencia, sino por exceso, ya que efluentes de la planta de tratamiento ricos en fósforo provocan proliferación excesiva de algas y plantas acuáticas en el curso del cuerpo receptor.

2.5.1.4 Carbono:

También se obtiene dióxido de carbono procedente de la oxidación de los compuestos orgánicos solubles y la respiración bacterial, este último en la proporción del oxígeno disuelto. El carbono orgánico procede de los desechos orgánicos y es el principal constituyente del material biológico. Los valores del carbono total pueden correlacionarse con los valores de la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno.

2.5.1.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno :

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se define como la cantidad de oxígeno necesaria para que una población microbiana heterogénea, establezca la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua residual. Por lo tanto la DBO representa una medida indirecta de concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. Son materias orgánicas no biodegradables: la lignina, la celulosa, los pesticidas clorados, algunos detergentes, Etc.

2.5.1.6 Demanda Química de Oxígeno:

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un ensayo de laboratorio que mide el equivalente en oxígeno de la fracción del material orgánico presente en la muestra, que es susceptible de oxidación, en medio ácido, por medio del dicromato de potasio. Generalmente se debe esperar que el valor de la DBO última o DBO_{20} se aproxime al valor de la DQO. La demanda química de oxígeno es útil para determinar las diluciones necesarias en el ensayo de demanda bioquímica de oxígeno.

2.5.1.7 Demanda Total de Oxígeno:

La Demanda Total de Oxígeno (DTO) incluye sustancias orgánicas e inorgánicas, con diversas eficiencias de reacción. Las reacciones químicas que aparentemente suceden son las siguientes:

- El carbono se convierte en monóxido de carbono.
- El nitrógeno con valencia -3 se convierte en óxido nítrico.
- El hidrógeno se convierte en agua.
- El ion sulfito se convierte parcialmente en sulfato.

Tanto la Demanda Química de Oxígeno, como la Demanda Total de Oxígeno, miden la concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos oxidables, presentes en una muestra de agua residual. Por lo tanto cabe esperarse que entre dichos valores exista una muy buena correlación.

2.5.1.8 Metales Pesados:

Los metales pesados pueden ejercer alguna influencia en los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales, se ha determinado los umbrales de toxicidad para el plomo,

Zinc, Cadmio, Hierro y otros elementos, su valor es cercano a 1.0 miligramos por litro. Sin embargo, en la literatura científica se reporta que no se han presentado efectos nocivos para los sistemas biológicos de tratamiento aún en concentraciones mayores.

2.5.2 Parámetros Físicos:

2.5.2.1 Potencial de Hidrógeno (pH):

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de las aguas residuales como naturales. El intervalo de concentraciones adecuado para la correcta proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con el pH inadecuado presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración del pH en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de las descarga al cuerpo receptor. El pH varía con la actividad bacteriana, fotosintética y de respiración de las algas, con la temperatura y transformaciones químicas que sufre el agua, debido a los procesos.

2.5.3 Características Microbiológicas:

2.5.3.1 Clasificación de los Microorganismos:

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias.

2.5.3.1.1 Bacterias:

Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoides, bastón, bastón curvado y filamentosa.

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales proceden de desechos humanos infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales son: las bacterias, los virus, los protozoarios y el grupo de helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como fiebre tifoidea y paratifoidea, disentería, diarrea, cólera y hepatitis. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de un gran número de muertes en países de escasos recursos sanitarios, especialmente en las zonas tropicales.

Los organismos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en pequeñas cantidades y además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El tracto intestinal humano contiene innumerables bacterias con forma de bastoncillos, conocidas como organismos coliformes. Además de otras clases de organismos, cada ser humano evacúa de 100,000 a 400,000 millones de organismos coliformes cada día. Por ello se considera que la presencia de coliformes es un indicador de la presencia de organismos patógenos y que la ausencia de estos puede ser indicador de que las aguas estén libres de organismos que puedan causar enfermedades.

2.6 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.6.1 Procesos de Tratamiento:

Los principales procesos de tratamiento para las aguas residuales son los físicos, químicos y biológicos.

2.6.1.1 Procesos Físicos:

Se basan en las propiedades físicas que incluyen la separación de sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales y su estabilización, la remoción de partículas flotantes, la retención de partículas de gran tamaño, desechos sólidos (basura), Etc.

2.6.1.2 Procesos Químicos:

Consisten en la separación o transformación de las sustancias sedimentables, flotantes y disueltas mediante el uso de sustancias químicas. Un sistema utilizado en este proceso, es el uso de algún desinfectante para eliminar elementos patógenos existentes en el agua.

2.6.1.3 Procesos Biológicos:

Para estos procesos se utiliza la actividad de ciertos microorganismos para la oxidación y mineralización de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales.

2.6.2 Tipos de Tratamiento:

Los tipos de tratamiento se pueden clasificar en tratamientos preliminares o pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciarios y tratamientos especiales o de pulimento.

2.6.2.1 Tratamientos Preliminares o Pre-Tratamiento:

Son el conjunto de unidades que tienen como finalidad eliminar materiales que perjudican al sistema de conducción, como material flotante; sólidos inorgánicos en suspensión, como arenas; Etc. Las principales unidades son las rejillas o cribas de barra y el desarenador.

2.6.2.2 Tratamiento Primario:

La finalidad de éste es la remoción de sólidos suspendidos y esto puede ser por medio de sedimentación, filtración, flotación, floculación y precipitación. Las principales unidades para esta fase son la fosa séptica, el tanque Imhoff, sedimentadores primarios, reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), coagulación y precipitación.

2.6.2.3 Tratamiento Secundario:

La finalidad de éste es la remoción de material coloidal y en suspensión. Para esto al utilizar procesos biológicos, se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales, lo mismo que en su proceso de alimentación, degradan la materia orgánica, convirtiéndola en materia celular, productos inorgánicos o material inerte. Los microorganismos pueden ser : Aerobios y Anaerobios.

2.6.2.4 Tratamiento Terciario:

Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química-biológica adecuada y se obtiene un pulimento al agua de acuerdo al reuso que se le pretenda dar a las aguas residuales tratadas.

2.7 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

2.7.1 Pre-Tratamiento:

2.7.1.1 Rejillas o Cribas de Barras:

Tienen como objetivo la remoción de los materiales gruesos o en suspensión, los cuales pueden ser retirados mecánicamente o manualmente. Están formadas por barras separadas en claros libres entre 1.0 y 5.0 centímetros, comúnmente 2.5 centímetros y colocadas en un ángulo de 30 y 60 grados respecto a la horizontal. Los sólidos separados por este sistema se eliminan enterrándolos o incinerándolos.

2.7.1.2 Desarenador:

Las aguas residuales contienen, por lo general, sólidos inorgánicos como arenas, cenizas y grava, a los que se les denomina 'arenas'. La cantidad es variable y depende de muchos factores, pero principalmente de si la red de alcantarillado es sanitario o combinado. Las arenas pueden dañar los equipos mecánicos por abrasión y causar serias dificultades operatorias en los tanques de sedimentación y en la digestión de los lodos, por acumularse alrededor de las tuberías de entrada, causando obstrucción.

2.7.2 Tratamiento Primario:

2.7.2.1 Fosa Séptica:

Son unidades en donde no existe una red de alcantarillado sanitario, como pueden ser escuelas rurales, campos o zonas de recreo, hoteles y restaurantes campestres. En general se utilizan para tratar aguas residuales domésticas.

Estos dispositivos combinan los procesos de sedimentación y de digestión anaerobia de lodos; usualmente se diseñan con dos o más cámaras que operan en serie. En el primer compartimento se efectúa la sedimentación, digestión de lodos y su almacenamiento. Debido a que en la descomposición anaerobia, se producen gases que suspenden a los sólidos sedimentados en la primera cámara, se requiere de una segunda cámara para mejorar el proceso, en donde se vuelva a sedimentar y almacenar, evitando que sean arrastrados con el efluente.

Dicho efluente se encuentra en condiciones sépticas, llevando consigo un alto contenido de materia orgánica disuelta y suspendida, por lo que requiere un tratamiento posterior.

2.7.2.2 Tanques Imhoff:

Para comunidades de 5,000 habitantes o menos los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos, sedimentados en la misma unidad, necesita una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso correcto se requiere que las aguas negras pasen por el proceso de cribado y remoción de arena. Son convenientes en climas calurosos pues esto facilita la digestión de los lodos. En la selección de esta unidad de tratamiento se debe considerar que los tanques Imhoff pueden producir olores desagradables.

2.7.2.3 Sedimentadores Primarios:

A diferencia de la fosa séptica y los tanques Imhoff en estas unidades no se tratan los lodos, por lo que generalmente se utilizan como una primera etapa de un tratamiento primario. Estas unidades tienen como función la reducción de los sólidos suspendidos, grasas y aceites de las aguas residuales, las eficiencias esperadas son del 55% de los sólidos y se obtienen concentraciones de grasas y aceites menores a los 30 mg/l.

2.7.2.4 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA):

Corresponde a Letting el desarrollo de este reactor, que por su simplicidad se ha difundido en varios países. Su gran ventaja consiste en que no se requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos de hasta 5 mm de diámetro. Estos granos cuentan además con una actividad metanogénica muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso. El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior cuenta con un sistema de separación gas-líquido-sólido, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flóculos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor.

El punto débil del proceso consiste en la lentitud del proceso de arranque del reactor (generalmente de 6 meses); por otro lado en desagües diluidos, como lo son las aguas domésticas residuales, las variables críticas del diseño son las hidráulicas, no así la carga orgánica.

2.7.2.5 Coagulación o Floculación:

Es el proceso por el cual se ayuda a las pequeñas partículas (coloides) suspendidas en el agua a sedimentar, mediante la adición de compuestos químicos que inducen a las partículas pequeñas (coloides) a formar grupos grandes (flóculos) de mayor peso, para su mejor sedimentación. A las sustancias que se utilizan en este proceso se les llama coagulantes, de los cuales los más utilizados son las sales de aluminio o hierro, tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y el sulfato férrico. Para la mezcla de los reactivos se utiliza la turbulencia creada por un vertedero, pero es conveniente disponer de un sistema que permita esta mezcla rápida.

2.7.3 Tratamiento Secundario:

Este término comúnmente se utiliza para los sistemas de tratamiento del tipo biológico, en los cuales se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales, mismos que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica, convirtiéndola en material celular, productos inorgánicos o material inerte. La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aeróbicos (en presencia de oxígeno) y los anaeróbicos (en ausencia de oxígeno).

En los procesos aeróbicos, los microorganismos presentes se utilizan para metabolizar los compuestos orgánicos complejos hasta llegar a compuestos más simples. Estos procesos generalmente son más rápidos, pero requieren de condiciones favorables que permitan el desarrollo de microorganismos y la alimentación continua de oxígeno.

Los procesos anaeróbicos se producen en sustancias de oxígeno molecular. En éstos se desarrollan bacterias formadoras de ácidos, las cuales se hidrolizan y fermentan compuestos orgánicos complejos o ácidos simples, este proceso es conocido como fermentación ácida; estos compuestos ácidos son transformados por un segundo grupo de bacterias en gas metano y anhídrido carbónico. El desdoblamiento de los compuestos complejos hace que el proceso sea más lento y que los productos finales no lleguen a una oxidación completa.

2.7.3.1 Filtro Anaerobio:

Consiste en un reactor de flujo ascendente, empacado con soportes plásticos o con piedras de 3 a 5 centímetros de diámetro promedio. El coeficiente de vacío debe ser grande para evitar el taponamiento, lo que en algunos casos se traduce en un área específica inferior a $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Debido a la distribución desordenada del soporte, las purgas del todo no son efectivas, lo que provoca una acumulación lenta pero constante de biomasa que con el tiempo crea problemas de taponamiento. Este reactor puede soportar cargas hasta de $20 \text{ Kg. DQO}/\text{m}^3 \text{ día}$.

2.7.3.2 Reactor Tubular de Película Fija:

Para evitar la acumulación de lodos en el reactor, Van den Berg y Lentz (1979), desarrollaron el reactor tubular de flujo ascendente o descendente. El soporte utilizado en este caso, consiste en tubos o placas dispuestas de tal forma que se crean canales verticales. El material puede ser de cerámica, PVC, poliéster, Etc. El ordenamiento del soporte da como resultado coeficientes de vacío importantes, con buenas relaciones largo volumen ($> \text{ de } 150 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Las cargas aplicadas pueden llegar hasta $30 \text{ Kg. DQO}/\text{m}^3 \text{ día}$.

2.7.3.3 Filtros Percoladores:

El mecanismo principal de remoción de la materia orgánica de este sistema no es la filtración, sino la absorción y asimilación biológica que se crea en el medio de soporte. Generalmente no requiere recirculación a diferencia de los lodos activados, donde ésta es determinante para mantener los microorganismos en el licor mezclado.

Una vez que el filtro se encuentra operando, la superficie en el medio comienza a cubrirse con una sustancia viscosa y gelatinosa conteniendo bacterias y otro tipo de

microorganismos. El efluente de la sedimentación primaria es distribuido uniformemente por el medio del soporte del filtro a través de un sistema distribuidor del flujo. El oxígeno para que se lleve a cabo el metabolismo biológico aerobio es suministrado por la circulación del aire a través de los espacios entre el medio filtrante y parcialmente por el oxígeno disuelto presente en el agua residual. Al cabo de un tiempo, comienza el crecimiento microbiano en la interfase aerobia del medio filtrante, generando el crecimiento de organismos anaerobios y facultativos que junto con los organismos aerobios forman el mecanismo básico para la remoción de la materia orgánica.

El efluente del filtro percolador deberá pasar a través de un clarificador secundario para colectar la biomasa desprendida, la sedimentación primaria es necesaria antes de los filtros con medios de rocas para minimizar los problemas de obstrucción.

2.7.3.4 Biodiscos:

Originalmente este sistema consistía en una serie de discos de madera, con diámetros entre 1.0 y 3.5 metros, montados sobre una flecha horizontal que giraba durante el movimiento, cerca del 40% del área superficial de los discos se encontraba sumergida en el agua residual. Actualmente se utilizan placas de plástico corrugado y otros materiales en vez de madera. Cuando el proceso inicia su operación, los microorganismos del agua residual afluente se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área quede cubierta con una capa o una película microbiana.

Al girar los discos, la película biológica se adhiere a éstos entrando en contacto, alternamente con el agua residual que está en el estanque y con el oxígeno atmosférico. Al salir las aguas del tanque, los discos arrastran una capa líquida sobre la superficie de la película biológica, lo cual permite la oxigenación del agua y los microorganismos. Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones la capa líquida se renueva constantemente. La oxigenación se realiza por difusión a través de la película líquida que queda adherida a la biomasa. Los microorganismos utilizan oxígeno molecular disuelto para efectuar la degradación aerobia de la materia orgánica, que se utiliza como fuente de nutrientes. El exceso de microorganismos se desprende de los discos debido a las fuerzas cortantes originadas por la rotación de éstos al pasar por el agua. Los microorganismos desprendidos se mantienen en suspensión en el líquido, salen del tanque con el agua tratada y se dirigen hacia el sedimentador secundario, donde son separados de ésta.

2.7.3.5 Lagunas de Estabilización:

Se conoce con este término a cualquier laguna, estanque o grupo de ellas, destinado a llevar a cabo un tratamiento biológico. Existen diversos tipos de lagunas dependiendo de sus características y pueden ser:

2.7.3.5.1 Lagunas Anaerobias:

Generalmente se usan como una primera depuración o pre-tratamiento, se puede considerar como un digestor ya que se le aplican cantidades de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen, de tal manera que prevalezcan las condiciones anaeróbicas, es decir la ausencia de oxígeno, la eficiencia esperada con este tipo de lagunas varía con el tiempo de retención hidráulica; con tiempos de 1 a 10 días se obtiene una eficiencia de remoción de DBO de 20 al 60%, respectivamente. La temperatura es uno de los factores que más influencia

tiene en estas unidades, se puede decir que su eficiencia decrece notablemente con valores inferiores a los 15° C. Una desventaja de este tipo de lagunas es la producción de malos olores que impide su localización en lugares cercanos (500 m) de zonas habitadas. Generalmente son estanques de 3.00 a 5.00 metros de profundidad.

2.7.3.5.2 Lagunas Aerobias:

Como su nombre lo indica son lagunas que operan en presencia del aire, son de poca profundidad, de 1.20 a 0.80 metros, lo que propicia la proliferación de algas que suministran una buena parte del oxígeno necesario. Se logran eficiencias de DBO de 65% a 75%. Su desventaja principal es la cantidad de terreno que requieren.

2.7.3.5.3 Lagunas Facultativas:

Se puede decir que es una combinación de las dos anteriores. Se diseñan con una profundidad variando normalmente entre 1.50 a 2.00 metros y una cantidad de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen que permita el crecimiento de organismos aeróbicos y facultativos (estos últimos pueden reproducirse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno). Es el tipo de lagunas más usado por su flexibilidad; requieren menos terreno que las aerobias y no producen los posibles olores de las anaerobias. Como en todos los procesos biológicos, el factor que afecta su eficiencia es la temperatura. Las eficiencias esperadas en estas lagunas van desde el 60% hasta el 85% en remoción de DBO. La eficiencia en la remoción de bacterias, especialmente del grupo coliforme, puede alcanzar valores del 99.99%, debido a los tiempos de retención hidráulicos tan prolongados.

2.7.3.5.4 Lagunas Aireadas:

En estas lagunas el oxígeno es suministrado por equipos mecánicos de aireación y también por actividad fotosintética de las algas y transferencia de oxígeno de la interfase aire-agua. Este tipo de lagunas es utilizado para aumentar la capacidad de las lagunas facultativas sobrecargadas o cuando la disponibilidad de terreno es reducida, generalmente se diseñan con profundidades de 2.00 a 6.00 metros y tiempos de retención de 3 a 10 días.

2.7.3.5.5 Lodos Activados:

Lodo activado es una película biológica producida en las aguas residuales previamente decantadas por el crecimiento de las bacterias zoogreas u otros organismos, en la presencia de oxígeno disuelto en el agua y acumulado en concentración suficiente gracias a la recirculación de la película biológica previamente formada.

Las aguas residuales crudas, después de una sedimentación primaria, se mezclan con los lodos en recirculación y se introducen al tanque de aireación, en donde permanecen por espacio de 3 a 6 horas. A la mezcla de las aguas residuales y lodos en recirculación, dentro del tanque de aireación, se le conoce como licor mezclado.

2.7.3.5.6 Aireación Extendida:

El proceso de aireación extendida es una modificación del proceso de los lodos activados, en el cual se mantiene una edad de lodos en un valor relativamente alto, dándole tiempo suficiente para que una parte de estos lodos logre su estabilización, como consecuencia también su tiempo de retención en los tanques es mayor (16 a 24 horas). Esta diferencia significa que el proceso de aireación extendida requiere de unidades más grandes y de mayor capacidad de equipo de aireación. Las eficiencias que se obtiene en remoción de DBO son superiores al 90% y se pueden considerar como un tratamiento secundario que incluye la digestión o estabilización de lodos.

2.7.3.5.7. Zanjas de Oxidación:

Es un proceso de lodos activados en su variante de aireación extendida. La diferencia radica en la configuración, que fue diseñada para facilitar su procedimiento constructivo y disminuir los costos de inversión y de operación y mantenimiento.

Consiste en zanjas ovaladas y cerradas, con sección transversal trapezoidal, tirante de agua entre 1.00 y 1.80 metros. Estas zanjas se implementan con equipo mecánico, rotores o cepillos que imprimen movimiento al agua para mantener los sólidos en suspensión mezclados, aumentando el oxígeno necesario para mantener condiciones básicas anaerobias.

El proceso tiene un tiempo de retención hidráulico entre 16 y 24 horas y una retención de lodos superiores a los 30 días. Las eficiencias obtenidas en remoción de DBO son superiores al 90% y los sólidos en exceso pueden ser manejados sin problemas de olor o de contaminación.

2.7.4 Desinfección:

Cuando se descargan aguas residuales crudas o tratadas en cuerpos que van a utilizarse, o que pueden ser utilizados como fuentes de abastecimiento público o para propósitos recreativos, se requiere de un tratamiento suplementario para destruir los elementos patógenos, a fin de que sean mínimos los peligros para la salud debido a la contaminación de dichas aguas, al tratamiento se le conoce como desinfección. Existen varios métodos de desinfección:

- Físicos: filtración, ebullición y rayos ultravioleta.
- Químicos: por la aplicación de cloro, bromo, ozono, iones de plata, Etc.

2.7.5 Tratamiento Terciario:

Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química-biológica adecuada para el uso al que se destinará el agua residual tratada, o sea que son procesos por los cuales se le da un pulimento al agua de acuerdo al reuso que se le pretenda dar. Para el uso de las aguas municipales, generalmente no se utiliza el tratamiento terciario, a menos que el reuso de las aguas tenga alguna aplicación en la industria y en algunos casos en protección de acuíferos.

2.8 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

La preocupación por el deterioro de los recursos hídricos y el tratamiento de las aguas residuales no es nueva en América Latina. Durante la primera mitad de este siglo se trató de emular la tecnología de los países desarrollados, pero ésta no funcionó bien. Se construyeron plantas de tratamiento primario (sedimentación) y secundario (tratamiento biológico con filtros o lodos activados). La mayoría operaron sólo por períodos limitados y casi nunca se llevó a cabo la cloración de los efluentes. El manejo de los lodos se hizo en una forma poco cuidadosa y con mucha frecuencia fueron descargados los mismos en los cuerpos de agua que se quería proteger. Muchas plantas de tratamiento terminaron por abandonarse y esta mala experiencia ha impedido la construcción de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales de una manera sistemática. Se ha tratado de repetir la introducción del tratamiento de las aguas servidas de tipo convencional. En algunos casos se logran construir las obras, pero casi nunca se logra que éstas funcionen de una manera eficiente y sobre todo continua por falta de operación y mantenimiento. No existe una cultura de tratamiento de las aguas residuales y menos aún el deseo de pagar por el sostenimiento de este servicio.

Es preocupante el deterioro progresivo de los recursos hídricos y el fracaso en el medio de las tecnologías que los países desarrollados han utilizado para resolver este problema. Si el fracaso se debe a razones sociales y económicas la alternativa que queda, es el uso de tecnologías apropiadas. Pero ello obliga a cambiar el enfoque del problema; ya no se puede pensar en tratar y desinfectar las aguas (sistema convencional) y resolver de una vez los problemas ecológicos y de salud, como lo hacen los países desarrollados. Se debe pensar primero en resolver los problemas de patógenos (es decir, el problema de salud), reteniendo las aguas en estanques llamados lagunas de estabilización o estanques con lirio u otras plantas acuáticas.

Como las lagunas de estabilización demandan extensiones muy grandes no siempre se dispone del terreno necesario. Una posibilidad es combinar el uso de lagunas facultativas con lagunas anaeróbicas o con reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA). Los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales, debido a su reducido período de retención hidráulico, son poco eficientes en la remoción de elementos patógenos, por lo que para garantizar una adecuada calidad en el efluente deben complementarse con la aplicación de un tratamiento de desinfección, lo que provoca que los costos de operación de este tipo de sistemas sean sumamente altos. Para poder observar de una mejor forma las ventajas y desventajas de los procesos de tratamiento de aguas residuales, se incluye el siguiente cuadro:

CUADRO 1

PROCESOS DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Fosas Sépticas	<ul style="list-style-type: none">■ Apropriadadas para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc.■ Su limpieza no es frecuente.■ Bajo costo de construcción y operación.■ Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento.■ Menor disponibilidad de terreno.	<ul style="list-style-type: none">■ Su tiempo de retención es prolongado.■ Su uso es limitado (max. 300 hab/unidad).■ Produce un efluente de mala calidad (por su alto contenido de sólidos.).
2. Tanque Imhoff	<ul style="list-style-type: none">■ Impide el arrastre de los sólidos en el efluente.■ Menor tiempo de retención.■ Costo bajo de construcción y operación.■ Mínimo grado de operación y mantenimiento.■ Menor disponibilidad de terreno	<ul style="list-style-type: none">■ Efluente de mala calidad.■ Actualmente su uso es limitado.

PROCESOS DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
3. Filtro Anaerobio	<ul style="list-style-type: none"> ■ Se logran altas concentraciones de biomasa y largos tiempos de retención celular (TRC's). ■ Pequeños volúmenes de reactor debido a las altas cargas orgánicas. ■ Su operación es relativamente estable, bajo condiciones variables de alimentación o choques tóxicos. ■ Es adecuado para aguas residuales con bajas concentraciones de sólidos suspendidos. ■ No requiere agitación mecánica. ■ El biogas producido y la recirculación del efluente permite que se mantenga uniforme el pH y la temperatura. ■ Requiere de un área pequeña de terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ La acumulación de sólidos suspendidos tiene un efecto adverso en las características hidráulicas y transferencia de masas. ■ No son adecuados para aguas residuales con altos contenidos de sólidos suspendidos. ■ Requiere de disposición periódica de biomasa. ■ Con tiempos de residencia hidráulica (TRH's) relativamente cortos, se reduce la capacidad para resistir choques orgánicos. ■ Los costos del material filtrante son altos.
4. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).	<ul style="list-style-type: none"> ■ Soporta altas cargas (> 20 o 40 kg. DQO/m³. Día) ■ Bajo requerimiento de energía. ■ No requiere medio de soporte. ■ Construcción relativamente simple. ■ Con inóculo apropiado puede arrancar en forma inmediata. ■ Aplicable a pequeña y gran escala. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ La granulación es lenta y no necesariamente controlable. ■ No todas las aguas favorecen la granulación. ■ Requerimientos de inóculos de determinadas características. ■ Sensible a sólidos suspendidos, grasas y aceites en el afluente. ■ Sensible a la variación del afluente (carga, volumen y temperatura) y arranque lento si no se cuenta con el inóculo apropiado

PROCESOS DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>5. Sistemas de Lodos Activados Convencional</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alta calidad en el efluente tratado debido al control del flujo de aguas residuales, el oxígeno y la densidad bacteriana (lodo activado) ■ Mayor eficiencia en el tratamiento comparado con los lechos biológicos, debido a la mayor independencia de la temperatura. ■ Menor área comparado con los filtros biológicos. ■ Períodos más cortos de arranque (menos de 2 semanas) en comparación con los lechos biológicos (de 4 a 6 semanas). ■ No produce olores desagradables ni atrae las moscas. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Altos costos de operación y mantenimiento. ■ Necesidad de utilizar personal operador especializado. ■ Sistema sensible a sobrecargas y cambios bruscos en la calidad de los afluentes. ■ Necesidad de un completo control de laboratorios. ■ Procesos mecanizados. ■ Alta producción de lodos.
<p>6. Filtros Percoladores</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ No necesita de equipos para suministro de oxígeno. ■ Baja producción de lodos. ■ Menor área superficial de construcción, considerando la alta producción de biomasa generada en la gran área superficial del medio filtrante. ■ Menor tamaño en los sedimentadores comparativamente con los lodos activados. ■ No se requiere de personal altamente calificado. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Estructura alta que obliga a bombear las aguas residuales desde el sedimentador. ■ Área superficial relativamente grande. ■ Pueden existir problemas de olor, especialmente en las temporadas cálidas. ■ Presencia de larvas o moscas, que desarrolladas en exceso puedan obstaculizar el proceso de clarificación.

PROCESOS DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
7. Lagunas de Estabilización	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pueden recibir y retener grandes cantidades de aguas residuales, soportando sobrecargas hidráulicas y orgánicas con mayor flexibilidad, comparativamente con otros tratamientos. ■ Formación de biomasa más efectiva y variada que en otros procesos. ■ No requiere de instalaciones complementarias para la producción de oxígeno. El mismo se produce en forma natural dentro del sistema. ■ Debido a los tiempos de retención prolongados y a los mecanismos del proceso, son sistemas altamente eficaces para la remoción de bacterias virus y parásitos. ■ Mínimo mantenimiento. ■ No requiere de personal calificado. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Necesidad de grandes extensiones de terreno para su construcción.
8. Biodiscos o Discos Rotativos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Simplicidad de operación y mantenimiento. ■ Facilidad al ampliar la capacidad de tratamiento por usar unidades modulares. ■ No requiere recirculación de los lodos. ■ El biodisco no es afectado negativamente por sobrecargas hidráulicas y orgánicas. ■ Tiempos de retención hidráulica pequeños (menores de 70 minutos). ■ Carecen de problemas de aerosol y ruidos de los otros sistemas por lodos activados. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ La principal ventaja de los biodiscos de hojas corrugadas con polietileno es su difícil fabricación. ■ El diseño mecánico del sistema debe de ser riguroso. ■ Se requiere de equipo pesado y especial capacitado para su montaje. ■ Consumo de energía.

De esto se puede concluir que a pesar de ser las lagunas de estabilización el tratamiento que requiere mayor cantidad de área para su construcción, es la tecnología más apropiada en estos momentos para el tratamiento de las aguas residuales municipales del país. Debido a que actualmente no existe una cultura de sostenibilidad hacia los sistemas de tratamiento de aguas residuales en nuestro país y para este caso las Lagunas de Estabilización son capaces de trabajar con un mínimo de operación y mantenimiento. Por otro lado las lagunas de estabilización son las únicas en las que se logra remover una gran cantidad de elementos patógenos, debido a sus largos períodos de retención hidráulica. Esto es pensando que el fin principal del tratamiento de las Aguas Residuales debe ser la protección de la salud y que esto debe tener como consecuencia la protección de los recursos hídricos y del ornato del país.

CAPÍTULO III

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

3.1.1 Parámetros Sanitarios:

3.1.1.1 Introducción:

Cuando las aguas residuales de tipo doméstico son lanzadas a los ríos o cuerpos de agua sin ningún tratamiento, suelen contaminarlos con altas concentraciones de bacterias, virus y parásitos, creándose un grave problema en la salud pública. Entre las principales enfermedades que se propagan por esta mala disposición de las aguas residuales están las diarreas (bacterianas y víricas), la tifoidea y la paratifoidea, la hepatitis, el cólera, la amebiasis, giardiasis, Etc. Como es muy difícil detectar y cuantificar a todos los patógenos causantes de estas enfermedades se ha tomado como un indicador de la contaminación por patógenos a los coliformes fecales (número más próximo por 100ml).

3.1.1.2 Legislación Vigente:

Actualmente en Guatemala se encuentra en vigencia el "Reglamento de Requisitos Mínimos y Límites Máximos Permisibles de Contaminación para las Descargas de las Aguas Servidas" aprobado en el Acuerdo Gubernativo Número 60-89. Este tiene como objetivo establecer los límites de contaminación permisibles para las descargas de aguas servidas o de desecho, procedentes de las industrias, explotaciones agropecuarias y municipalidades del país, en los cuerpos receptores de aguas superficiales, subterráneas o costeras.

Para el caso específico de este estudio se debería considerar el Capítulo II "De las Aguas Servidas Municipales" en los artículos 5to. 6to. y 7mo., de ser así no habría necesidad de realizar el estudio para una Planta de Tratamiento para las descargas municipales, ya que este reglamento permite la descarga de las aguas servidas crudas municipales, a los cuerpos receptores como se indica en el artículo 6to. en todos los incisos. Por otro lado, en el artículo 7mo. se presenta el siguiente cuadro:

CUADRO 2

Muestras	Sólidos Sedimentable	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)
Tomadas al azar, máximo	1.0 ml/l	---	---
Mezcla de 2 hrs. máximo	1.0 ml/l	500 ml/l	50 ml/l
Mezcla de 24 hrs. máximo	1.0 ml/l	450 ml/l	200 ml/l

Como se puede observar los parámetros establecidos están por arriba de la calidad de las aguas servidas crudas, es por esto que se tomó la decisión de investigar otras fuentes que pudieran proporcionar parámetros que permitan la protección de los cuerpos receptores. Por encontrarse el Municipio de Villa Nueva dentro de la Cuenca del Lago de Amatitlán, se contactó con la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán

AMSA, institución encargada de velar por el rescate y resguardo del lago. Es por esto que se utilizan los parámetros establecidos por ellos para la descarga de aguas residuales al Río Villa Lobos principal afluente al Lago.

Es importante mencionar que el objetivo principal del tratamiento de la aguas residuales es el de proteger la salud pública, sin olvidar la protección de los recursos hídricos y el ornato paisajístico. A continuación se presenta el cuadro con los parámetros permisibles para la descarga de aguas residuales emitido por AMSA.

CUADRO 3

PARÁMETROS MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN

Parámetro	Unidad de Medida	Máximo permisible
PH		6.5 - 8.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	40 - 80
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	60 - 100
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/l	22
Sólidos Sedimentables	mg/l	1
Nitrógeno Total	mg/l	10
Fósforo Total	mg/l	1
Coliforme Fecal	NMP/100 ml.	1000

3.1.2 Parámetros Estructurales:

En el Capítulo II, en la Selección de Alternativa, se llegó a la conclusión que el tratamiento apropiado es por medio de Lagunas de Estabilización. Por ser estos grandes estanques para la retención de las aguas residuales, su construcción se basa en el movimiento de tierras y los parámetros estructurales básicos están basados en la impermeabilización del terreno y la conformación de los taludes. Las obras de arte adicionales son pequeñas estructuras que deberán regirse por los parámetros para concreto según el código del Instituto Americano del Concreto -ACI-.

3.1.2.1 Rellenos:

Se ejecutarán con el material del sitio o área de trabajo. Todo el material conveniente que provenga de las excavaciones, será empleado en lo posible en la formación de terraplenes, taludes, perimetrales, asientos y rellenos de zanja. El material obtenido en las excavaciones y considerado conveniente para terraplenes y taludes, deberá estar libre de materiales orgánicos y ajustarse en lo posible a los requerimientos siguientes:

- | | |
|---|-----|
| 1) Índice mínimo de plasticidad: | 15% |
| 2) Mínimo que pase por la malla N° 200 de la serie Sieve: | 25% |

El material para terraplenes será arcilla u otro material impermeable. Todo talud de tierra será acabado hasta presentar una superficie razonable llana y que esté de acuerdo substancialmente con el plano pertinente, tanto en el aspecto de alineamiento, como en las secciones transversales.

Los terraplenes y rellenos no deberán tener escombros, árboles, troncos, materiales en pie o entrelazados, raíces o basura. Antes de comenzar la construcción se eliminará el césped, humus u otro material orgánico; igualmente la zona del terraplén será removida (arada) de tal manera que el material del terraplén se adhiera al terreno natural. Todos los agujeros causados por la extracción de los tacones y la corrección de todas las irregularidades en la zona de la laguna serán rellenos con material selecto.

3.1.2.2 Compactación:

El material para la formación de los terraplenes será colocado en capas horizontales de 20 a 30 cms. de espesor, abarcando todo el ancho de la sección, esparcidas suavemente, con equipo esparcidor u otro equipo aplicable. Capas de espesor mayores de 30 cms. no serán utilizadas sin autorización del Ingeniero Inspector. Los rellenos por capas horizontales deberán ser ejecutados en una longitud donde sea factible los métodos de acarreo, mezcla, riego o secado y compactación usados.

La piedra o roca utilizada en terraplenes de tierra no deberá exceder de 15 cms. medidos en su espesor máximo. Cada capa del terraplén será humedecida o secada a un contenido de humedad necesaria (humedad óptima) para asegurar la compactación máxima. Donde sea necesario asegurar un material uniforme, se mezclará el material usando la motoniveladora, rastra o disco de arado. Cada capa será compactada con equipo pesado; rodillos apisonadores y rodillos de llantas neumáticas

3.1.2.3 Afirmado:

Este trabajo será ejecutado después que el terraplén esté completamente terminado y todas las estructuras y tuberías hayan sido instaladas y rellenas. Todo el material blando o inestable que no es factible de compactar o que no sirve para el propósito señalado deberá ser removido.

Donde se estipule, se deberá colocar y compactar una capa en la parte superior y en los taludes del terraplén ya sea en corte o en relleno, empleando material de afirmado, el que deberá consistir de suelo granular de baja plasticidad. Las piedras mayores de 10 cm. o de 2/3 del espesor de la capa que se coloque serán eliminadas; terrones de arcilla ni de material orgánico serán aceptados. El material afirmado estará formado por partículas o fragmentos de piedra o grava dura y durables y un relleno de arena u otro material mineral finamente dividido. La porción del material retenido en una malla No. 4 será llamado 'agregado grueso' y aquella porción que pase por la malla No. 4 será llamado 'relleno'.

3.1.2.4 Estabilizado:

Donde el material existente no tenga la resistencia adecuada, se deberá construir una capa o lecho mezclado, un material estabilizado con el material natural existente de la excavación o préstamo. Los materiales estabilizadores deben ser suelos de alto poder de

sustentación como grava, tamizados de piedra, cemento, cal o cualquier otro material que sea apropiado para estabilizar. En general, el material que contenga apreciable cantidad de materia orgánica o que tenga alta plasticidad, no es conveniente para ser usado como estabilizador. Los materiales para la estabilización serán colocados en capas de 15 cm. bien compactados y mezclados. Los materiales se mezclarán con cuchillas, discos o arados.

Cuando sea necesario se deberá secar el material mojado o añadir agua al material seco para nivelar la mezcla estabilizada al contenido de humedad adecuado para la compactación, la que deberá ejecutarse hasta que toda la profundidad afirmada o estabilizada tenga una densidad determinada por pruebas hechas en cada capa, no menores del 92% de la máxima densidad, determinada por el Método de Compactación del Estado de California de las Cinco Capas o del 95% de la máxima determinada por el método de Proctor Modificado.

3.1.2.5 Pavimentos:

En algunos casos se podrá especificar la pavimentación de los taludes; mediante la colocación de piedra escogida o pedraplén en el espesor que indiquen los planos. La piedra usada como rip-rap debe ser dura, densa y durable.

El tamaño mínimo de la piedra será la que tenga un peso de 500 grs. y el tamaño máximo, la que tenga un peso de 1 kg. El espesor y ancho de las piedras no debe ser menor que la tercera parte de su longitud. Se permitirá el uso de hasta el 15% en peso de piedras que pasen por la malla de 3 pulgadas y no se permitirá más de 5% de tierra, arena o polvo de roca. El pedraplén o rip-rap se colocará en forma estable sin tendencia al deslizamiento y no deberá haber espacios grandes sin rellenar dentro del rip-rap.

3.1.2.6 Impermeabilización:

En los casos donde se especifique la impermeabilización de la Lagunas, ésta se ejecutará mediante la colocación de una capa de arcilla (tipo adobe) de 5 a 10 cms. de espesor. La arcilla para impermeabilización debe estar libre de materia orgánica o basura, además estará pulverizada de tal modo que esté graduada en la forma siguiente:

Porcentaje que pase del:

Tamiz ½"	100%
Tamiz ¼"	80%

También, puede emplearse como impermeabilización una capa de suelo cemento de 5 cms. de espesor, en la proporción 1: 5, preparada con agua a razón de 6 galones por saco de cemento. Una vez terminada la capa impermeable será curada por un tiempo no menor de 15 días. Otro elemento impermeabilizante es la instalación de plástico (nylon) en el fondo y en las paredes de las lagunas, luego se les deberá recubrir con una capa de 0.50 metros de arcilla o del material del suelo, de acuerdo a las especificaciones dadas en los planos.

3.1.3 Parámetros Hidráulicos:

3.1.3.1 Canales, Tuberías de Interconexión y Obras de Arte:

Las tuberías, canales y emisarios que conducen las aguas residuales hacia las lagunas o los efluentes de éstas, se diseñarán con los mismos criterios que se siguen para el diseño de alcantarillado. En donde la velocidad no deberá de ser menor a 0.50 m/seg., con el fin de evitar el depósito y acumulación de sedimentos en la misma.

3.1.3.2 Canal de Rejas:

El diseño del canal de rejas deberá realizarse para las condiciones de caudal máximo horario, pudiendo tomar en consideración las siguientes opciones:

- Tres canales con rejas de igual dimensión, de los cuales uno servirá de "by pass" en caso de emergencia o de mantenimiento. En este caso dos de los tres canales tendrán capacidad para conducir el máximo caudal horario.
- Dos canales con rejas, cada uno dimensionado para conducir el caudal horario máximo.

Para el diseño deberán considerarse los siguientes aspectos:

- a) Se utilizarán barras de sección rectangular de 5 a 15 mm. de espesor y de 30 a 75 mm. de ancho, preferiblemente de material inoxidable. Las dimensiones dependen de la longitud de la barra y del mecanismo de limpieza.
- b) El espaciamiento entre barras oscilará entre 20 y 50 mm.
- c) Las dimensiones y espaciamiento entre barras serán seleccionadas de modo que la velocidad del canal antes de y a través de las barras, sea la adecuada. La velocidad a través de las barras limpias deberá de mantenerse entre 0.60 a 0.75 m/s (basado en el caudal máximo horario). Las velocidades deben verificarse para los caudales máximos y mínimos.
- d) Determinadas las dimensiones se procederá a calcular la velocidad del canal antes de las barras, la que deberá mantenerse entre 0.30 y 0.60 m/s, siendo 0.45 m/s el valor recomendable.
- e) En la determinación del perfil hidráulico se calculará la pérdida de carga a través de las rejas para condiciones de caudal máximo horario y 50% del área obstruida. Se utilizará el valor más desfavorable obtenido al aplicar la correlaciones para el cálculo de la pérdida de carga. El tirante del agua en el canal antes de las rejas y el borde libre se comprobará para condiciones de caudal máximo horario y 50% del área de rejas obstruida.
- f) El ángulo de inclinación de las rejas oscilará entre 45 y 60 grados con respecto a la horizontal.

3.1.3.3 Medidores y Repartidores de Caudal:

Después del canal de rejas se deberá de incluir un medidor de caudal de régimen crítico, pudiendo ser del tipo "Parshall" o "Pálmer Bowlous". No se acepta el uso de vertederos. Las estructuras de repartición de caudal deberán permitir la distribución del caudal considerando todas sus variaciones en proporción a la capacidad del proceso inicial de un tratamiento.

Deberá considerarse su diseño para el caudal máximo horario, debiendo comprobarse su funcionamiento para condiciones de caudal medio, con su respectivo tubo para el control del tirante de agua.

3.1.3.4 Especificaciones para Lagunas de Estabilización:

Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) y la materia orgánica contenida en el agua residual.

3.1.3.4.1 Lagunas Anaerobias:

- a) Las lagunas anaerobias se emplean generalmente como primera unidad de un sistema cuando la disponibilidad de terreno es limitada o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales, en cuyo caso pueden darse varias unidades en serie. No es recomendable el uso de lagunas anaerobias para temperaturas menores de 15° C y presencia de alto contenido de sulfatos en las aguas residuales (mayor a 250 mg/l).
- b) Debido a las altas cargas de diseño y a la reducida eficiencia, es necesario el tratamiento adicional para alcanzar el grado de tratamiento requerido. En el caso de usar lagunas facultativas secundarias su carga orgánica superficial no debe estar por encima de los valores límite para las lagunas facultativas.
- c) En el dimensionamiento de lagunas anaerobias se pueden usar las siguientes recomendaciones para temperatura de 20°:
 - Carga orgánica volumétrica de 100 a 300 g de DBO₅ /m³. día
 - Período de retención nominal de 1 a 5 días
 - Profundidad entre 2.5 y 5 metros
 - 50% de eficiencia en la remoción de DBO
 - Carga superficial mayor de 1,000 kg. DBO₅ /ha. Día
- d) Se deberá diseñar un mínimo de dos unidades en paralelo para permitir la operación en una de las unidades mientras se remueve el lodo de la otra.
- e) La acumulación de lodos se calculará con un aporte no menor de 40 l/hab/año. En ningún caso se deberá permitir que el volumen de lodos acumulados supere el 50% del tirante de la laguna.
- f) Para efecto del cálculo de reducción bacteriana se asumirá una reducción nula en lagunas anaerobias.

3.1.3.4.2 Lagunas Facultativas:

- a) Su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser:
 - Como una laguna única (como es el caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria o terciaria (normalmente referida como laguna de maduración).

- Como unidad secundaria después de las lagunas anaerobias o aireadas para procesar efluentes a un grado mayor.
- b) Los criterios de diseño referidos a temperaturas y mortalidad de bacterias se deberán determinar en forma experimental. Alternativamente y cuando no sea posible la experimentación, se podrán utilizar los siguientes criterios:
- La temperatura de diseño será el promedio del mes más frío (temperatura del agua), determinada a través de correlaciones de la temperatura del aire y del agua existentes.
 - En caso de no existir esos datos se determinará la temperatura del agua, sumando la temperatura del aire, un valor que será debidamente justificado, que depende de las condiciones meteorológicas del lugar.
 - En donde no exista ningún dato se usará la temperatura promedio del aire del mes más frío.
 - El coeficiente de mortalidad bacteriana (neto) será adoptado entre el intervalo de 0.6 a 1.0 (1/días) para 20° C.
- c) La carga máxima que se puede aplicar a una laguna facultativa sin que se torne anaerobia puede estimarse con la siguiente correlación:

$$C_m = 357.4 \times 1.04^{T-20}$$

En donde:

- C_m = Carga superficial máxima en kg. DBO / (hab. d).
 T = Temperatura del agua en el mes más frío en grados centígrados.

- d) Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas deberá ser mayor de 1.50 metros.

3.1.3.4.3 Lagunas para Remoción de Patógenos:

Las disposiciones que se detallan a continuación se aplican para cualquier tipo de lagunas, dado que la mortalidad bacteriana y remoción de parásitos ocurre en todas las unidades y no solamente en las lagunas de maduración. Con relación a los parásitos intestinales de las aguas residuales, los nemátodos intestinales se consideran como indicadores, de modo que su remoción implica la remoción de otro tipo de parásitos. Para una adecuada remoción de nemátodos intestinales en un sistema de lagunas se requiere un período de retención nominal de 10 días como mínimo para las unidades.

La reducción de bacterias en cualquier tipo de laguna deberá ser determinada, en lo posible, en términos de coliformes fecales como indicadores. Para tal efecto, se deberá usar el modelo de flujo disperso con los coeficientes de mortalidad netos para los diferentes tipos de unidades. El factor de dispersión en el modelo de flujo disperso puede determinarse según la forma de la laguna y el valor de la temperatura. Los siguientes valores son referenciales para la relación largo/ancho:

Relación largo/ancho	Factor de dispersión d
1	1.00
2	0.50
4	0.25
8	0.12

El coeficiente de mortalidad neto puede ser corregido con la siguiente relación de dependencia de temperatura:

$$K_T = K_{20} \times 1.04^{(T-20)}$$

En donde:

- K_T = Coeficiente de mortalidad neto a la temperatura del agua.
- T = Temperatura promedio del agua del mes más frío en grados centígrados.
- K_{20} = Coeficiente de mortalidad neto a 20°C.

CAPÍTULO IV

4.1 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

4.1.1 Normas Generales para el Diseño de Sistemas de Lagunas:

El período de diseño de la Planta de Tratamiento deberá estar comprendido entre 20 y 30 años, con etapas de implementación de alrededor de 10 años. En la concepción del proyecto se deberán seguir las siguientes consideraciones:

- El diseño deberá concebirse por lo menos con dos unidades en paralelo, para permitir la operación de una de las unidades durante la limpieza.
- La conformación de las unidades, geometría, forma y número de celdas, deberá escogerse en función de la topografía del sitio y en particular de un óptimo movimiento de tierras, es decir, de un adecuado balance entre el corte y el relleno para los diques.
- La forma de las lagunas depende del tipo de cada una de las unidades. Para las lagunas anaerobias y aireadas se recomienda formas cuadradas o ligeramente rectangulares. Para las facultativas se recomienda formas alargadas; se sugiere que la relación largo/ancho mínima sea de 2.
- En general el tipo de entrada deberá ser lo más simple posible y no muy alejada del borde de los taludes, debiendo proyectarse con descargas sobre la superficie.
- En la salida, se deberá instalar un dispositivo de medición de caudal (vertedero o medidor del régimen crítico), con la finalidad de poder evaluar el funcionamiento de la unidad.
- Antes de la salida de las lagunas primarias, se recomienda la instalación de una pantalla de retención de natas.
- La interconexión entre lagunas puede efectuarse mediante el uso de simples tuberías después del vertedero o canales con un medidor de régimen crítico. Esta última alternativa es la de menor pérdida de carga y de utilidad en terrenos planos.
- Las esquinas de los diques deberán redondearse para minimizar la acumulación de natas.
- El ancho de la corona sobre los diques deberá ser por lo menos de 2.50 metros para permitir la circulación de vehículos. En las lagunas primarias el ancho deberá ser tal que permita la circulación del equipo pesado, tanto en la etapa de construcción como durante la remoción de los lodos.
- No se recomienda el diseño de tuberías, válvulas, compuertas metálicas de vaciado de las lagunas, debido a que se deterioran por falta de uso. Para el vaciado de las lagunas se

recomienda la instalación temporal de sifones u otro sistema alternativo de bajo costo, en la actualidad estos accesorios se fabrican con materiales inoxidable.

- El borde libre recomendado para lagunas de estabilización es de 0.50 metros. Para los casos en los que se pueda producir oleaje por la acción del viento, se deberá calcular una altura mayor y diseñar la protección correspondiente para evitar el proceso de erosión de los diques.

Se deberán comprobar en el diseño del funcionamiento de las lagunas, las siguientes condiciones especiales:

- Durante las condiciones de puesta en operación inicial, el balance hídrico de la laguna (afluente > efluente) deberá ser positivo durante los primeros meses de funcionamiento.
- Durante los períodos de limpieza, la carga superficial aplicada sobre las lagunas en operación, no deberá exceder la carga máxima correspondiente a las temperaturas del período de limpieza.

Para el diseño de los diques se deberán tomar en cuenta las siguientes disposiciones:

- Se deberá efectuar el número de pruebas necesarias para determinar el tipo de suelo y de los estratos a cortarse en el movimiento de tierras. En esta etapa se efectuarán las pruebas de mecánicas de suelo que se requieran (se deberá incluir la permeabilidad en el sitio) para un adecuado diseño de los diques y formas de impermeabilización. Para determinar el número de muestras, se tendrá en consideración la topografía y geología del terreno, observándose las siguientes recomendaciones:
 - ◊ Los diques deberán diseñarse comprobando que no produzcan volcamientos y que exista estabilidad en las condiciones más desfavorables de operación, incluyendo un vaciado rápido y sismo, así como resistencia a las tormentas.
 - ◊ Se deberán calcular las subpresiones en los lados exteriores de los taludes para comprobar si la pendiente exterior de los diques es adecuada y determinar la necesidad de controles como: impermeabilización, recubrimiento o filtros de drenaje.
 - ◊ En general los taludes interiores de los diques deberán tener una inclinación entre 1:1.5 y 1:2.0. Los taludes exteriores son menos inclinados, entre 1:2 y 1:3 (vertical : horizontal).
 - ◊ Se deberá especificar el tipo de material a usarse en la compactación de los diques y capa de impermeabilización, determinándose además los bancos de los diferentes materiales que se requieran.
 - ◊ La diferencia de cotas del fondo de las lagunas y el nivel freático deberá determinarse, considerando las restricciones constructivas y de contaminación de las aguas subterráneas, de acuerdo a la vulnerabilidad del acuífero.

4.1.2 Parámetros de Diseño:

4.1.2.1 Población de Diseño:

El cálculo de la población de diseño se determinó con base a una tasa de crecimiento anual del 4.1%. Dicha tasa se estableció en base a los siguientes criterios:

- A) En el municipio de Villa Nueva entre los censos de 1973 a 1981; 1981 a 1994 y 1973 a 1994, se observan diversas tasas de crecimiento, respectivamente del 6.8%, 7.9% y 7.5% las cuales son mayores a la del crecimiento de la población total del país previstas por el Instituto Nacional de Estadística - INE - en 2.8%, tomándose la decisión de adoptar una que se situara entre los valores máximos.
- B) El porcentaje de la población del área de influencia del proyecto, ya no tiene posibilidades de expandirse en forma horizontal.
- C) El crecimiento acelerado de la industria, también admite que la población crecerá a una tasa, la cual dada el espacio territorial disponible del área de influencia del proyecto, no será mayor a la observada en los años anteriores, considerando que las aguas residuales de las industrias son pre-tratadas.

El modelo utilizado para efectuar el cálculo de las proyecciones fue el de Incremento Geométrico, en donde la fórmula utilizada es:

$$P_n = P_o * ((r/100) + 1)^n$$

En donde:

- P_n = Población Futura
- P_o = Población Inicial
- r = Tasa de crecimiento
- n = Proyección en años

El área de influencia para la planta de tratamiento es de aproximadamente del 80% de la población del casco urbano del municipio, se tomó como base el estudio socio económico realizado por el Equipo Residente del Proyecto PROSANA/CARE en la municipalidad de Villa Nueva, en el que la población para el año 1994 sería de 22,993 habitantes. Por ser éste el único dato existente, se tomó como base para realizar el cálculo de la población futura. Se considera al año 0 (1999) con una población de 28,202 habitantes y para el año 20 (2,019) una población final de diseño de 62,993 habitantes.

4.1.2.2 Cálculo del Caudal de Diseño:

De acuerdo a la información proporcionada por el Departamento de Aguas y Drenajes de la Municipalidad de Villa Nueva, la dotación de agua por servicio domiciliario es de 30 m³ mensuales. Se calculó que la densidad de vivienda es de 6.5 habitantes por lo que:

La dotación de agua potable por habitante es:

$$30 \text{ m}^3 / \text{mes} \times 1000 \text{ lts.} / \text{m}^3 = 30,000 \text{ lts/mes/vivienda}$$

$$30,000 \text{ lts} / \text{mes} \times 1 \text{ mes} / 30 \text{ días} = 1,000 \text{ lts} / \text{día} / \text{vivienda}$$

$$1,000 \text{ lts} / \text{día} \times 1 / 6.5 \text{ hab.} = 153.84 \text{ lts} / \text{hab} / \text{día}$$

La contribución de aguas residuales se estima que es el 80% de la dotación de agua potable por lo que:

$$153.84 \text{ lts} / \text{hab} \cdot \text{día} \times 0.80 = 123.07 \text{ lts} / \text{hab} / \text{día}$$

De acuerdo al cálculo de población futura, los habitantes a servir al final del período de diseño serían 65,500 habitantes, por lo que el caudal medio (Q_{medio}) al final del período de diseño será de:

$$Q_{\text{medio}} = 123.07 \text{ lts} / \text{hab} / \text{día} \times 1 \text{ día} / 86,400 \text{ seg.} \times 62,993 \text{ hab.}$$

$$Q_{\text{medio}} = 87.73 \text{ lts} / \text{seg.}$$

Por ser tan irregular el servicio de agua potable dentro del municipio, se consideraron los siguientes factores para el cálculo del caudal máximo y el caudal mínimo:

$$F_{\text{hora max.}} = 2.50$$

$$F_{\text{hora min.}} = 0.75$$

Por lo que:

$$Q_{\text{max.}} = 224.33 \text{ lts} / \text{seg.}$$

$$Q_{\text{min.}} = 67.30 \text{ lts} / \text{seg.}$$

4.1.3 Diseño del Pre-Tratamiento:

4.1.3.1 Caja Derivadora de Demasías:

Debido a la falta de educación sanitaria que existe entre las personas de la comunidad y a la falta de una supervisión estricta por parte de la municipalidad de Villa Nueva, la mayoría de las personas han conectado al sistema de drenaje sanitario, la tubería del sistema pluvial. Esto provoca que durante el período de invierno el caudal que corre por el sistema sanitario sea sumamente grande.

En caso de diseñarse el sistema de tratamiento para este caudal, se necesitarían de áreas muy grandes y esto causaría el sobre diseño de la planta de tratamiento, lo que provocaría que la inversión inicial fuera sumamente alta.

Es por esto que se tomó la decisión de diseñar cajas derivadoras de caudales en la red de alcantarillado y al inicio del sistema. Estas tienen como función desviar los excedentes de las aguas en períodos de invierno, hacia un "By Pass" que descargaría directamente al Río "Villa Lobos". Esto se hace bajo la premisa que en el momento que esta situación se da, las aguas servidas se encuentren diluidas por las aguas de lluvia, por lo que el impacto que causaría al cuerpo receptor, por ser descargadas crudas, sería mínimo.

La caja de demasías o derivadora de caudales funciona básicamente como una caja de rebalse, en donde la parte principal es el diseño de un vertedero que permita el paso del caudal máximo de diseño y el resto lo rebalse hacia el "By Pass".

4.1.3.1.1 Diseño Hidráulico:

Debido a que el caudal determinado para el funcionamiento de la planta es el caudal máximo y en períodos de lluvia, este caudal aumenta aproximadamente en un 200% es necesaria la construcción de un vertedero para lograr la distribución adecuada del caudal. Para el diseño de éste se consideró un vertedero rectangular y la ecuación que determina el caudal es por medio de "Francis":

$$Q = 1.838 \times L \times H^{3/2}$$

En donde:

- Q = Caudal, medido en m³ / seg.
- L = Longitud del vertedero, medida en m.
- H = Altura del espejo de agua dentro del vertedero, dada en m.

Debido a que este tipo de vertederos se encuentra influenciado por las contracciones laterales, la ecuación se transforma en:

$$Q = 1.838 \times (L - 0.20 H) \times H^{3/2} \quad (1)$$

Para el diseño se considera que el Q máximo es igual a 224.33 lts/seg. = 0.22433 m³ / seg., se asumió una altura H de 0.25 metros y se despejó de la ecuación de vertedero, la L de longitud de cresta:

$$Q = 1.838 \times (L - 0.20 H) \times H^{3/2}$$

Si H = 0.25 metros

$$\frac{0.22433}{1.838 \times 0.25^{3/2}} + 0.20 \times 0.25 = L$$

L = 1.03 metros

Resumiendo las dimensiones de la cresta del vertedero en las siguientes:

- L = 1.03 metros
- H = 0.25 metros

Verificando las dimensiones para el Q_{mínimo} y Q_{medio}.

Despejando de la ecuación 1.

$$\frac{Q}{1.838} = L H^{3/2} - 0.20 H^{5/2}$$

Elevando la ecuación al cuadrado y utilizando el método de Bisección en donde X₀ = 0 y X₁ = 0.25.

$$\text{Para } Q_{\text{mínimo}} = 67.30 \text{ lts/seg.} = 0.06730 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$0.04 H^5 + 1.1236 H^3 = 0.001340$$

$$H = 0.11 \text{ metros}$$

$$\text{Para } Q_{\text{medio}} = 89.73 \text{ lts/seg.} = 0.08973 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$0.04 H^5 + 1.1236 H^3 = 0.002383$$

$$H = 0.15 \text{ metros}$$

4.1.3.2 Canal de Rejas:

El canal de rejas es el primer paso en el tratamiento de las aguas residuales y éste consiste en la separación de los sólidos gruesos (basuras). Se hace pasar el agua residual bruta, a través de rejas de barras, éstas suelen tener aberturas libres entre barras de 15 a 50 mm.

A los materiales retenidos en las rejas, se les conoce con el nombre de residuos o basuras. Cuanto menor es la abertura libre de las barras, mayor será la cantidad de residuos eliminada. A pesar que no existe ninguna definición que permita identificar los materiales separables y que no existe ningún método reconocido que permita calcular la cantidad de residuos eliminados, éstos presentan ciertas propiedades comunes.

Los residuos de tamaño grande consisten en desechos tales como piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, raíces de arboles, trapos, plásticos, Etc. Los residuos de tamaño grande tienen un contenido de materia volátil muy alto, con un contenido de materia seca de un 15 a 25 % y una densidad entre 640 y 960 Kg/m³.

4.1.3.2.1 Diseño Hidráulico:

Para el diseño del canal de rejas se utiliza como $Q_{\text{diseño}}$ el caudal máximo, en este caso es $Q_{\text{diseño}} = 224.33 \text{ lts./seg.}$

El ancho propuesto del canal es $b = 0.75 \text{ m.}$

La Velocidad de paso es de 0.75 m/seg. (a través del canal), ésta se utiliza para evitar la sedimentación de sólidos y se considera la pérdida de carga a través de la reja.

La inclinación de las rejas es de 45° de la horizontal, por tratarse de rejas de operación manual.

Sección de las barras (t) = 0.00653 m (1/4 de pulgada)

La separación entre barras es de 0.127m (1/2 pulgada) para lograr una distribución uniforme en lo ancho del canal.

Para calcular la eficiencia de las rejas se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = \frac{e}{e + t}$$

En donde:

- E = Eficiencia del canal de rejas en %
 e = Espaciamiento de las rejas en pulgadas
 t = Espesor de las rejas en pulgadas

$$E = \frac{4/8}{4/8 + 2/8} = 66.6 \%$$

Como: $A_u = Q / V \quad (2)$

En donde:

- A_u = Área Util en m²
 Q = Caudal de diseño en m³/seg.
 V = Velocidad en m/seg.

De la ecuación (2)

$$A_u = \frac{0.22433 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.75 \text{ m/seg.}} = 0.299 \text{ m}^2$$

Si la sección del canal $S = \frac{A_u}{E} = b * h$

$$S = \frac{0.299}{0.666} = 0.449 \text{ m}^2$$

Como $S = b * h$ y $b = 0.75 \text{ m}$ y $S = 0.449 \text{ m}^2$ se despeja $h = 0.60 \text{ m}$

De acuerdo con los datos calculados, la sección del canal es de 0.75 m de ancho y 0.60 m de altura.

Para determinar la pendiente mínima del canal se utiliza la Ecuación de "Manning":

$$Q = \frac{A * R_h^{(2/3)} * S^{(1/2)}}{n} \quad (3)$$

En donde:

- A = Área del canal = 0.449 m²
 R_h = Radio hidráulico = 0.213 m
 S = Pendiente del canal = incógnita
 n = Coeficiente de rugosidad = 0.015

Despejando la ecuación $S = 0.0004 = 0.04\%$ por lo que se considera despreciable.

La estimación de la pérdida de carga (hf) se realiza con la fórmula de "Metcalf Eddy":

$$hf = \frac{1.43 * (V^2 - v_1^2)}{2g} \quad (4)$$

En donde:

- V = 2 veces la velocidad en el canal
 v_1 = Velocidad por la eficiencia en el canal

De la ecuación se tiene como resultado que $h_f = 0.10$ m.

En caso de obstrucciones en el canal de rejas por falta de mantenimiento o por el ingreso de sólidos gruesos en el canal, es necesario diseñar un canal "By Pass" para evitar que el canal de rejas se rebalse.

Utilizando la Ecuación de vertedero con contracción lateral (1) asumiendo la longitud $L = 0.75$ m, se encuentra que la altura del canal "By Pass" es $H = 0.30$ m.

El cálculo de la pendiente se realiza de la Ecuación (3) y se determina que la pendiente es $S = 0.2$ %, se asume despreciable.

Por operación del sistema es necesario construir dos unidades en forma paralela para que en el momento de realizar la limpieza en una de la unidades, la otra pueda funcionar a su máxima capacidad. Considerando que las aguas residuales arrastran grandes cantidades de basura, se deberá construir un depósito para que éstas se sequen y luego conducir las hacia el relleno sanitario municipal.

4.1.4 Diseño del Tratamiento Primario - Lagunas Anaerobias o Anaeróbicas:

Las lagunas anaerobias son generalmente empleadas como primera unidad de un sistema, en casos donde la disponibilidad de terreno es limitada o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones, en cuyo caso pueden darse varias unidades anaerobias en serie. Debido a las altas cargas que soportan estas unidades de tratamiento y a las reducidas eficiencias, se hace necesario el tratamiento posterior por unidades de lagunas facultativas en serie, para alcanzar el grado de tratamiento requerido. Se deberá comprobar que las lagunas secundarias no tengan una carga orgánica por encima del límite.

No existe un criterio generalizado para el dimensionamiento de las lagunas anaerobias, debido a que los criterios de diseño varían considerablemente. Alternativamente, se pueden usar las siguientes recomendaciones para temperaturas alrededor de los 20°C :

- Carga Orgánica Volumétrica 300 g DBO/($\text{m}^3 \cdot \text{d}$)
- Período de retención nominal de 5 días.
- Profundidad entre 2.5 y 5 metros
- Eficiencia de remoción de DBO 50%

Se deberá diseñar un número mínimo de 2 unidades en paralelo para permitir la operación en una de las unidades mientras se remueve el lodo en otras. La tasa de lodos se calculará con un aporte de 40 l/ (hab. año), determinándose el año de limpieza de las lagunas al alcanzar el 50% del tirante de agua.

4.1.5 Tratamiento Secundario:

Según la definición de este tipo de lagunas, sus características principales son el comensalismo entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaerobia de los sólidos sedimentados en el fondo. Los criterios de diseño en lo que se refiere a la temperatura y mortalidad bacteriana se deben determinar en forma experimental. Alternativamente y en caso de no ser posible la experimentación, se podrán utilizar los siguientes criterios:

- La temperatura de diseño será el promedio del mes más frío (temperatura del agua), determinada a través de correlaciones de las temperaturas del aire-agua.
- En donde no exista ningún dato, se utilizará para el diseño, la temperatura del aire del mes más frío.
- El coeficiente de mortalidad bacteriana (neto) será adoptado entre el intervalo de 0.8 a 1.6 (1/días) para 20 °C, se recomienda un valor alrededor de 1.0.

La carga máxima que se puede aplicar a una laguna facultativa sin que se torne anaerobia ha sido determinada a través de mediciones de amoníaco y confirmada a través de mediciones de clorofila y puede estimarse mediante la siguiente correlación:

$$CSm = 357.4 \times 1.085^{(t-20)}$$

En donde:

$$\begin{aligned} CSm &= \text{Carga superficial máxima en Kg. DBO/ (Ha. . d)} \\ T &= \text{Temperatura del agua mínima mensual en } ^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas deberá estar por encima de 1.20 m. La profundidad de las lagunas varía entre 1.5 y 2.5 m., la profundidad mínima recomendada es de 1.5 m.

4.1.6 Tratamiento Terciario o de Maduración:

Para el diseño del tratamiento terciario o de maduración por medio de lagunas de estabilización, las consideraciones que deberán tomarse en cuenta son las mismas que en el caso de las lagunas facultativas, en este caso, se deberá asegurar como mínimo, un período de retención de 10 días para lograr una adecuada remoción de nemátodos intestinales.

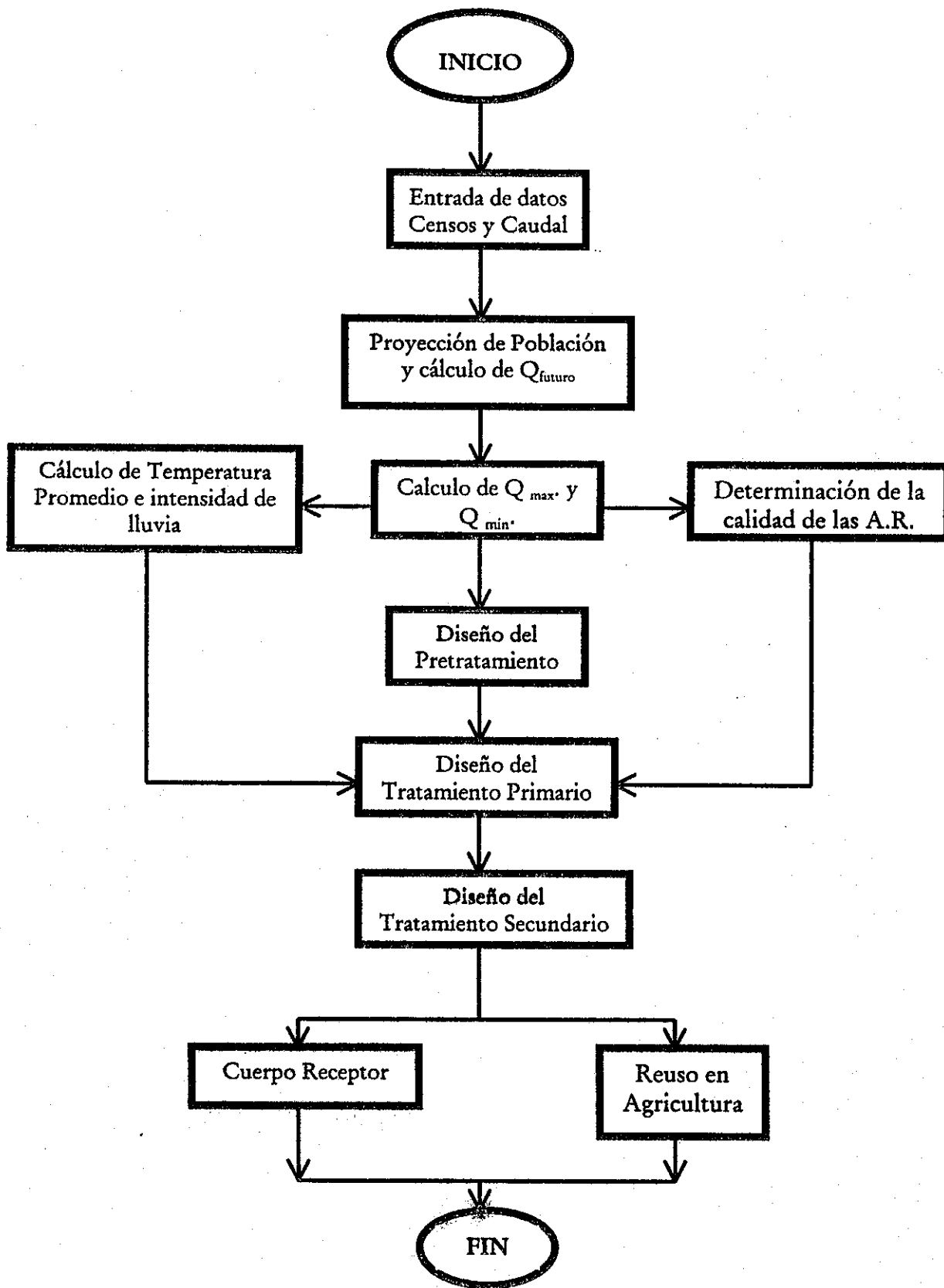
La reducción de bacterias deberá ser determinada en términos de coliformes fecales como indicadores, por lo que se utilizó el modelo de flujo disperso con los coeficientes de mortalidad netos apropiados. Estos coeficientes fueron corregidos con la siguiente relación de dependencia de temperatura:

$$K_T = K_{20} \times 1.07^{T-20}$$

En donde:

$$\begin{aligned} K_T &= \text{Coeficiente de mortalidad neto de la temperatura T en grados} \\ &\quad \text{centígrados.} \\ K_{20} &= \text{Coeficiente de mortalidad neto a 20 } ^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

DIAGRAMA DE FLUJO DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO



ALGORITMO DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO

INICIO

Ingreso de datos censos de población existentes
Cálculo de tasa de crecimiento de población
 $T \% = ((Pf/Po)^{\uparrow (1/n)} - 1$

Cálculo de proyección de población futura
 $Pf = (1 + T\%)^{\uparrow n}$

Ingreso de dotación de agua potable por habitante
Litros/hab/día
Cálculo de Q_{medio}
Litros / segundo

Ingreso de aporte de aguas residuales por habitante
 $Q_{medio} * \% \text{ contribución}$

Ingreso de factor de hora máxima
Cálculo de Q_{max}
 $Q_{medio} * fhmin$

Ingreso de factor de hora mínimo
Cálculo de Q_{min}
 $Q_{max} * fhmax$

Ingreso de datos de temperatura promedio mensual
Determinación de temperatura máximas y mínimas.

Ingreso de datos sobre calidad de las aguas residuales
Determinación de parámetros de calidad de agua residual

Pretratamiento
Diseño de caja derivadora de caudal

Diseño de canal de rejillas

Tratamiento
Diseño de lagunas primarias

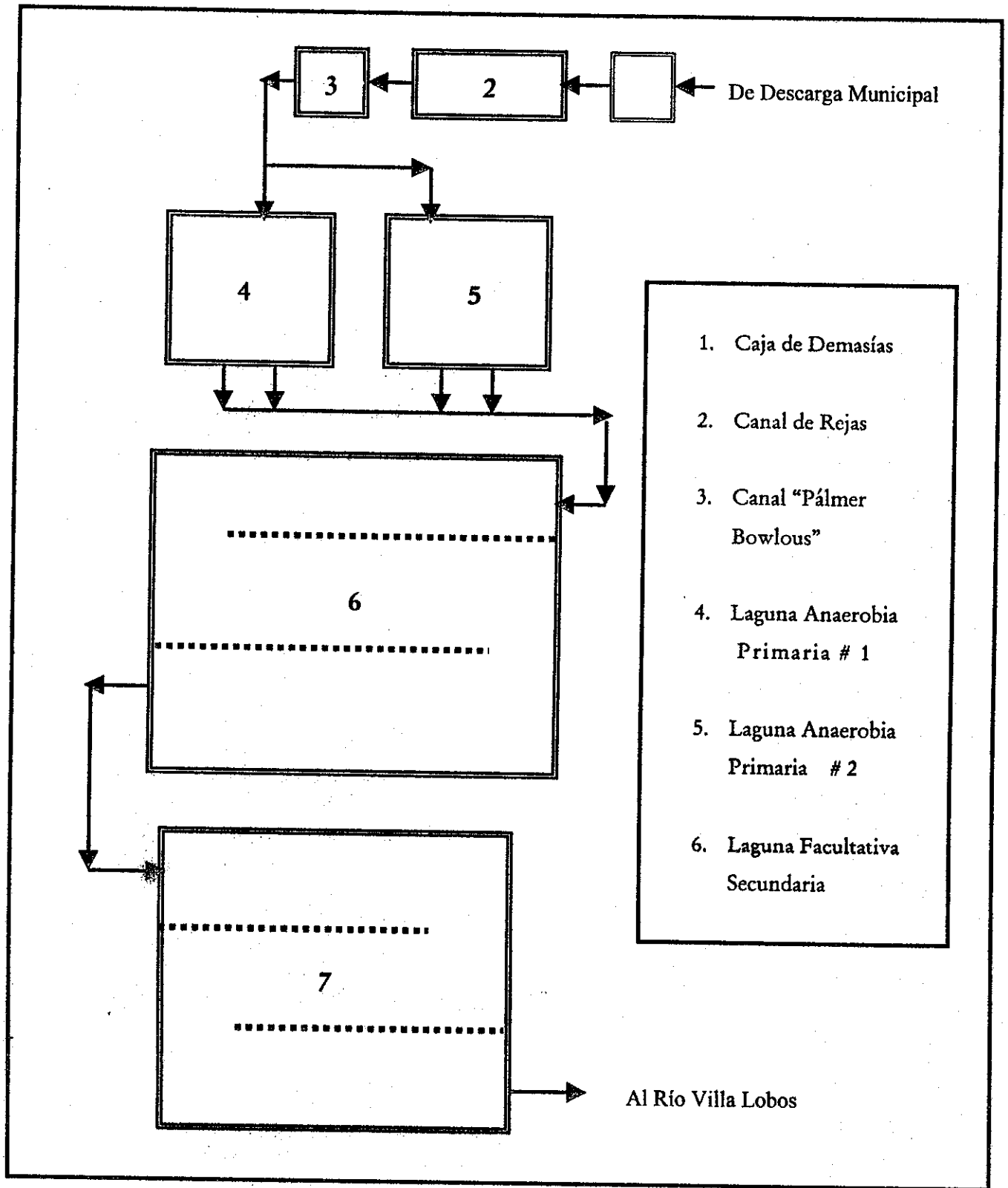
Diseño de lagunas secundarias

Verificación de la calidad del agua tratada
Riego de cultivos

Descarga al cuerpo receptor

FIN

ESQUEMA DEL SISTEMA PROPUESTO



CAPÍTULO V

5.1 USO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

5.1.1 Antecedentes:

En el aprovechamiento de las aguas residuales y lodos, las medidas para proteger la salud se pueden agrupar en cuatro grandes categorías:

- Tratamiento de los residuos (aguas residuales y lodos)
- Restricción de cultivos
- Métodos de aplicación de los residuos
- Control de la exposición humana

La protección a la salud ha recibido mayor atención en las áreas relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales y la restricción de cultivos. Como medida preventiva, en los métodos convencionales de tratamientos de aguas residuales, se da énfasis a la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y de los sólidos en suspensión.

Por otro lado, en el tratamiento para uso agropecuario se exige la eliminación de elementos patógenos, operación para la cual no son muy eficientes los métodos convencionales. Para diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales cuyos efluentes se pretendan utilizar en la agricultura o piscicultura, se deberá saber hasta qué punto hay que eliminar los elementos patógenos. Cada sistema de aprovechamiento exige un objetivo diferente en lo que respecta a la máxima concentración. Al diseñar un proyecto de tratamiento de aguas residuales se deberá seleccionar la tecnología y estrategias administrativas de aprovechamiento que ofrezcan el grado de protección sanitaria que se requiera.

Es necesario producir efluentes que satisfagan la calidad exigida mediante procesos que no demanden vigilancia continua. Por lo tanto se deberá hacer hincapié en la selección y diseño de las plantas de tratamiento. Esto especialmente en un país como Guatemala, que no posee la experiencia en el manejo de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Es conveniente considerar una combinación de medidas de protección. Por ejemplo la restricción de cultivos puede ser suficiente para proteger a los consumidores, pero deberá ir acompañada de medidas para proteger a los agricultores. En algunos casos un tratamiento parcial menos exigente puede ser suficiente, siempre que se combine con otras medidas. La viabilidad y eficacia de cualquier combinación de medidas de protección de la salud, depende de diversos factores que deberán examinarse cuidadosamente antes de poner en práctica determinada opción. Estos factores son:

- Disponibilidad de recursos (económicos, humanos y de terreno)
- Hábitos sociales y prácticas agrícolas
- Enfermedades relacionadas con las excretas

Si no se dispone de fondos económicos ni de terrenos para tratar las aguas residuales de acuerdo a las directrices de calidad para riego, es necesario recurrir a otra medida de protección a la salud. En algunos casos una adecuada restricción de cultivos, podría hacer innecesaria otra medida para proteger al público. Sin embargo, si la escasez de personal calificado y los hábitos establecidos impiden ejecutar restricciones de cultivo de manera eficaz, hay que recurrir a otros métodos.

5.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos:

El tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y acuícola tiene por objetivo suprimir los agentes patógenos con el fin de evitar la transmisión de enfermedades. Sin embargo, los sistemas de tratamiento de aguas residuales en EE.UU y Europa no tienen este objetivo; su interés primordial es el de suprimir la materia orgánica, expresada como DBO y los sólidos suspendidos. Durante los últimos años, debido a la creciente preocupación por la contaminación ambiental, se han incorporado métodos complejos avanzados a los sistemas habituales para mejorar la remoción de patógenos. Frente a esta situación las lagunas de estabilización constituyen un método más sencillo de reducir agentes patógenos.

En lo que respecta a la remoción de patógenos de las aguas residuales, el número de los que sobreviven es más importante que el número de los que mueren. Cifras como el 99% o 99.9% de remoción de agentes patógenos podría parecer impresionante, pero representa el 1 o el 0.1% de sobrevivientes respectivamente. Dadas las altas concentraciones de patógenos que se pueden encontrar en las aguas residuales, estas proporciones pueden ser importantes. Las aguas residuales sin tratar tienen más de 10^5 bacterias patógenas por litro. Por lo que un 99% de reducción dejaría más de 10^3 bacterias patógenas por litro.

Es por esta razón que el grado de eliminación de microorganismos de las aguas residuales a través de un tratamiento determinado, se expresa mejor en función de unidades logarítmicas de base 10. Al tratar aguas residuales municipales para su uso en riego sin restricción se necesita reducir la concentración bacteriana al menos en 4 unidades logarítmicas₁₀ y la concentración de huevos de helmintos en 3 unidades. Se puede reducir el grado de tratamiento si se adoptan otras medidas de protección a la salud, si la calidad de las aguas residuales puede mejorarse después del tratamiento mediante su dilución en aguas naturales; el almacenamiento prolongado o el transporte a lo largo de grandes distancias en un río o canal. El grado de reducción de agentes patógenos es fácil de calcular, pero la cifra pertinente para determinar su uso es la dilución mínima y ésta se produce en la estación seca, cuando el caudal es mínimo. La reducción de patógenos en depósitos, ríos o canales está en función del tiempo y de la temperatura y no necesariamente de la distancia aguas abajo. Los agentes patógenos de una corriente natural de flujo rápido pueden recorrer 50 km. en 12 horas, tiempo suficiente para que se produzca una reducción importante de patógenos.

La concentración promedio de coliformes fecales (CF) de aguas residuales municipales es alrededor de 10^7 a 10^8 CF/100 ml. Si éstas son descargadas a un río libre de contaminación con una capacidad de dilución mínima de 100^1 , la concentración en el río después de la descarga será de 10^6 CF/100 ml, valor superior al nivel máximo permisible para agua de riego sin restricciones en Europa y EE. UU que es de 1000 CF/100ml. En este ejemplo, la reducción de coliformes fecales necesaria para cumplir con el objetivo de calidad en el río sería como

¹ La dilución mínima puede expresarse como una relación entre el caudal de estiaje del río receptor de las descargas, y el caudal promedio de aguas residuales. Factor de dilución = (Caudal del río)/(caudal de las aguas residuales)

mínimo de 3 unidades logarítmicas₁₀.

Los lodos son un subproducto de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y su uso es valioso como fuente de nutrientes y acondicionador de suelos. Sin embargo, no resultan inocuos porque provienen de sistemas de sedimentación y tienen altas concentraciones de microorganismos, es por ello que los lodos deben ser tratados.

Las excretas y los lodos de las plantas de tratamiento no requieren de ningún tratamiento cuando se aplican al terreno mediante inyección subterránea o cuando se depositan a zanjas antes del período de siembra. Otros métodos de aplicación requieren un almacenamiento previo para cumplir con las directrices de calidad helmíntica (< 1 huevo viable de nemátodo intestinal por 100 g.), las excretas sin tratar deben almacenarse durante un período mínimo de 1 año a la temperatura ambiente. Este período incluye el lapso comprendido entre la excreción y la aplicación al terreno, así como cualquier tiempo transcurrido en una letrina, tanque séptico o un proceso de tratamiento como la digestión anaerobia y deshidratación mediante lechos de secados, por ejemplo. Este tiempo mínimo de almacenamiento puede reducirse mediante tratamiento a temperaturas superiores. Por ejemplo, en la elaboración aeróbica de abono y la digestión termofílica, la inactivación de patógenos se da a temperaturas superiores a los 50 °C, en un tiempo de retención adecuado.

Un aspecto que debe de considerarse en el aprovechamiento de aguas residuales y lodos provenientes de plantas de tratamiento, es el control del vertimiento de descargas industriales sin tratamiento previo al sistema municipal de alcantarillado. Tales descargas pueden inhibir los procesos de tratamiento biológicos y ciertas sustancias químicas (metales pesados) en concentraciones altas, pueden resultar tóxicas a las plantas o bioacumularse a través de la cadena alimenticia, lo que podría perjudicar a los consumidores de los productos generados por el aprovechamiento de aguas residuales y lodos.

Aún cuando se pretende aprovechar aguas residuales municipales de naturaleza doméstica, normalmente no se pueden evitar descargas clandestinas de pequeñas industrias como curtiembres, tratamiento de metales (galvanoplastia), recarga de baterías, entre otras, por lo que se debe de mantener un monitoreo constante.

5.1.3 Restricciones en la Producción Agropecuaria:

El uso de aguas residuales en cultivos sin restricción deberá cumplirse con las exigencias de calidad adoptadas en cada país, como referencia se pueden utilizar las directrices sanitarias de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, es necesario tomar algunas medidas adicionales para resguardar a los trabajadores de campo y a quienes manejan las cosechas.

Los cultivos pueden agruparse en tres categorías de acuerdo con el grado de medidas que protegen la salud:

➤ Categoría A:

En este grupo de cultivos los trabajadores de campo son los que están sujetos a riesgo. Por ello, las medidas de protección están orientadas a ellos. Incluye los siguientes cultivos:

- Cultivos no aptos para el consumo humano.
- Cultivos que deben de coserse antes de ser consumidos.

- Verduras y frutas cultivadas exclusivamente para enlatados u otros tratamientos que eliminen elementos patógenos.
- Cultivos para forraje, secados al sol y recolectados antes de ser consumidos por los animales.
- Riego de campos cercados sin acceso para el público.

➤ **Categoría B:**

En este grupo de cultivos el trabajador de campo es también el primer grupo de riesgo, pero puede existir riesgo indirecto para el consumidor, esto incluye:

- Cultivos de pasto y forrajes verdes.
- Cultivos para consumo humano que no están en contacto directo con aguas residuales.
- Cultivos que se ingieren cocidos.
- Cultivos para consumo cuya cáscara no se come.
- Cualquier cultivo que se riegue por aspersión.

➤ **Categoría C:**

En este grupo las medidas de protección están orientadas a resguardar tanto la salud del trabajador de campo como las del consumidor. El tratamiento de las aguas residuales deberá estar destinado a cumplir con las directrices de la OMS para uso irrestricto como medida fundamental. Esta categoría incluye:

- Todo producto que se ingiera crudo y se cultive en contacto con efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Riego de campo con acceso para el público.

La Categoría A recibe el nombre de riego restringido. Corresponde a una estrategia de protección al consumidor, especialmente al de menor resistencia a las infecciones. Sin embargo, no protege a los agricultores. Por lo tanto, la restricción no es una medida adecuada por sí sola, sino que forma parte de un sistema integrado de control. El cumplimiento exclusivo de la remoción de helmintos sería un grado de tratamiento parcial, suficiente para proteger a los trabajadores del campo en la mayoría de los casos y sería menos costoso.

5.1.4 Técnicas de Uso de Aguas Residuales y Lodos:

5.1.4.1 Las Aguas Residuales en la Agricultura:

El agua de riego puede aplicarse al terreno por inundación, mediante surcos, por aspersión, por riego del subsuelo, o por riego localizado o goteo. Las ventajas e inconvenientes de la aplicación de cada método cuando se emplean aguas residuales, se presentan en el Cuadro 4.

Si el agua no cumple con los requisitos de calidad y se desea regar cultivos de la Categoría B, no deberá utilizarse el riego por aspersión (excepto para cultivo de pasto o forraje) ni riego por inundación. El riego del subsuelo y el localizado pueden ofrecer el máximo grado de protección para la salud y aumentar la productividad de los cultivos. Sin embargo, este sistema resulta más costoso y aún no se ha empleado en gran escala con aguas residuales.

CUADRO 4

FACTORES QUE AFECTAN LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO Y MEDIDAS NECESARIAS CUANDO SE EMPLEAN AGUAS RESIDUALES

Método de Riego	Factores que afectan la Elección	Medidas Especiales para Aguas Residuales
• Riego por Inundación	Costo mínimo, no se requiere nivelación del terreno.	Protección completa para los trabajadores de campo, para los que manipulan las cosechas y para los consumidores.
• Riego Mediante Surcos	Costo reducido, puede ser necesaria la nivelación del terreno.	Protección para los trabajadores de campo y tal vez para los manipuladores de las cosechas y los consumidores.
• Riego por Aspersores	Aprovechamiento medio del agua, no se requiere nivelar el terreno.	No deben cultivarse algunos productos de la categoría B, sobre todo árboles frutales. Distancia mínima de 50 a 100 m. respecto a viviendas y caminos. No deben emplearse residuos anaerobios debido a los malos olores.
• Riego Subterráneo y Localizado	Costo elevado, gran aprovechamiento del agua	Filtración para evitar la obstrucción de malos olores.

5.1.4.2 Los Lodos en la Agricultura:

Los lodos sin tratar o parcialmente tratados sólo deben aplicarse en zanjas cubiertas, antes de la temporada de cultivo, deben inyectarse al subsuelo. En cambio, los lodos totalmente tratados (digeridos y sin agentes patógenos) pueden aplicarse en el terreno sin riesgos para la salud.

Los residuos orgánicos cuyo tratamiento se ajusta a las directrices de la OMS para calidad helmíntica, pueden tener altas concentraciones de agentes bacterianos y víricos y presentar mayor riesgo para los trabajadores de campo que el riego limitado con aguas residuales; solo podrá reducirse mediante el control de exposición.

5.1.5 Aspectos Técnicos de la Agricultura con Aguas Residuales:

Si bien es cierto el 50% de la agricultura en América Latina continúa realizándose por lluvia, cada vez se implementan más áreas con sistemas de irrigación para asegurar el abastecimiento regular de agua, obtener dos cosechas anuales, mejorar el uso de las tierras y elevar la rentabilidad de los cultivos.

Se estima que en Latinoamérica actualmente se riegan cerca de 500,000 hectáreas con aguas residuales. No existen datos oficiales de la mayoría de países, sin embargo, se sabe que las aguas residuales se están utilizando directa o indirectamente (ríos que reciben desagües) en la mayoría de ciudades que tienen áreas agrícolas aledañas.

5.1.5.1 Condiciones Básicas para un Riego Eficiente:

El riego tiene como propósito adicionar al suelo, el agua suficiente para que la planta tenga un adecuado crecimiento. Esta práctica es eficiente si se adoptan las siguientes medidas básicas:

- Aplicar la cantidad de agua necesaria
- Regar con agua de calidad aceptable
- Establecer una frecuencia apropiada para el riego
- Emplear métodos de riego convenientes
- Manejar en forma óptima los nutrientes

5.1.5.2 Requerimientos de Calidad de Agua:

La calidad del agua tiene un impacto importante en el crecimiento de la planta y por tanto en el rendimiento del cultivo. La calidad del agua depende de los siguientes factores:

- Condiciones climáticas locales
- Características físicas y químicas del suelo.
- Tolerancia del cultivo elegido
- Prácticas agronómicas (manejo del cultivo) y
- Método de riego

Los parámetros químicos para evaluar la calidad del agua son:

- Concentración total de sales disueltas
- Conductividad eléctrica
- Tasa de absorción de sodio
- Iones tóxicos (elementos en el nivel de trazas y metales pesados) y
- pH

El efecto de los iones de sodio en el agua de riego para un suelo con una tasa de infiltración reducida, depende de la concentración relativa de este ion respecto a las de calcio y magnesio, así como de la concentración total de sales.

5.1.5.3 Ventajas y Limitaciones del Uso de Aguas Residuales:

El riego con aguas residuales se ha incrementando notablemente en los últimos años debido a las siguientes ventajas:

- Disponibilidad permanente de agua
- Aporte de gran cantidad de nutrientes
- Incremento del rendimiento de los cultivos
- Mejora la calidad de los suelos (textura) y
- Ampliación de la frontera agrícola

Las áreas agrícolas cercanas a la ciudad, además de abastecer alimentos, también contribuyen a recargar el acuífero, oxigenar el ambiente urbano y mantener un nivel de precipitación estable. Aún cuando estas importantes ventajas justifican ampliamente el uso de las aguas residuales en agricultura, también existen las siguientes restricciones o riesgos potenciales que deberán tomarse en cuenta:

- La contaminación microbiológica de los productos
- La bioacumulación de elementos tóxicos
- La salinización e impermeabilización del suelo y
- El desbalance de nutrientes en el suelo

Sin embargo existen diversas estrategias de manejo agrícola que pueden reducir significativamente estos riesgos potenciales.

5.1.5.4 Aporte de Nutrientes:

El aporte de gran cantidad de nutrientes es una de las principales razones para preferir el riego con las aguas residuales, aún cuando se cuente con otras fuentes. La fertilización con abonos químicos se reduce o elimina mediante el riego con aguas residuales, lo que muchas veces representa una disminución de hasta el 50% del costo de producción.

5.1.6 Aspectos Técnicos de la Acuicultura con Aguas Residuales:

El uso de las aguas residuales en la acuicultura se inició en Alemania a fines del siglo XIX (Prein, 1898) y en Calcuta, India en 1930. Actualmente, en esta última ciudad se reporta la mayor cantidad de estanques para cultivo de peces alimentados con aguas residuales crudas.

Los sistemas integrados de plantas de tratamiento de aguas servidas y acuicultura son relativamente recientes y su desarrollo es promovido a nivel mundial por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD- y el Banco Mundial, especialmente en países en desarrollo, ya que representan una alternativa de bajo costo para el tratamiento de las aguas servidas y la producción de alimentos. En una reunión de expertos en la materia, efectuada en Calcuta, India, se formularon las siguientes conclusiones respecto a esta tecnología:

- a) Los sistemas integrados, si se diseñan y administran adecuadamente, representan una alternativa viable de bajo costo en comparación con las tecnologías convencionales.
- b) La producción neta de 5 a 7 t/ha./año de pescado se reporta en climas tropicales, donde la producción anual es continua y no se recurre a la alimentación suplementaria ni a la aireación.

- c) En climas templados se obtienen tasas similares de producción de 15 a 20 kg./ha/día durante el período estival.
- d) Aún cuando las lagunas de estabilización suelen diseñarse para tratar cargas orgánicas de 200 a 300 kg./de DBO/ha/día, la acuicultura opera con niveles mucho menores del orden de 10 a 20 kg. de DBO/ha/día para garantizar un adecuado equilibrio entre la productividad, la demanda de oxígeno y el crecimiento de los peces.

5.1.6.1 Descripción del Proceso Productivo:

La biomasa de algas producida en las lagunas constituye una excelente fuente alimenticia, pero su extracción y procesamiento aún resulta muy costoso. El cultivo de peces en estanques alimentados con efluentes tratados es una interesante opción para aprovechar la producción de algas. La Tilapia del Nilo es una especie apropiada para cultivarse en aguas tratadas, ya que tiene gran capacidad de filtrar fitoplacton. Esta especie tropical puede crecer hasta 250 gramos en siete meses, si el clima es cálido todo el año. Cuando se cultiva en una zona sub-tropical el período puede prolongarse hasta 12 meses, ya que el crecimiento se reduce durante la época fría del año.

Las aguas residuales tratadas permiten establecer un sistema piscícola productivo por la gran cantidad de fitoplacton que generan. Ello garantiza que la tilapia crezca bien, sin necesidad de proporcionarle alimento artificial.

5.1.7 Aspectos Técnicos de la Reforestación con Aguas Residuales:

El uso de las aguas residuales se ha orientado principalmente a la actividad agrícola y piscícola. En cambio, la reforestación sólo se ha considerado como barrera de viento o un cordón perimetral para evitar malos olores y mejorar la estética de las plantas de tratamiento y áreas de reuso.

Las mayores experiencias de riego forestal se han realizado en Pennsylvania y Michigan, Estados Unidos, en donde se han regado bosques artificiales con efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

En América Latina las dos principales experiencias forestales regadas con aguas residuales por gravedad se encuentran en el Proyecto del Lago Texcoco en el Valle de México y el entorno ecológico de San Juan Miraflores al sur de Lima, Perú.

5.1.7.1 Alternativas de Producción Forestal:

Los volúmenes de agua requeridos por la actividad forestal son significativamente menores que los demandados por la acuicultura y la agricultura. Estos requerimientos dependen de los siguientes factores:

- Condiciones climáticas locales
- Características agronómicas del suelo y
- Requerimientos de especie forestal manejada

De acuerdo a las diversas experiencias y proyectos existentes, las principales alternativas de producción forestal son las siguientes:

- Franjas perimetrales de las plantas de tratamiento
- Viveros forestales
- Bosques de producción de madera y otros productos
- Entornos ecológicos urbanos y
- Protección de laderas

Es importante destacar que la forestación puede estar orientada a la actividad comercial, como es la producción de madera y otros productos que tienen demanda en el mercado urbano, y no sólo a la conformación de bosques para fines ecológicos o recreativos.

5.1.7.2 Viveros Forestales:

Un componente importante para el uso de las aguas residuales es la implementación de viveros forestales, ya que diversas especies ornamentales pueden ser ofertadas en la ciudad con un beneficio económico elevado.

El área forestal periférica de la planta de tratamiento puede suministrar la semilla requerida por el vivero. Dependiendo de las especies, éstas son procesadas hasta lograr su germinación en las "camas forestales", especialmente acondicionadas para dicho propósito.

Los plántones del vivero pueden ser trasplantados a un área agrícola, en donde se colocan en líneas separadas por surcos a una distancia de 0.6 a 0.8 m. y a razón de dos o tres unidades por metro cuadrado, según la especie. Este campo se acondiciona por surcos para permitir el riego por gravedad con los efluentes de las lagunas de estabilización. Durante el período de crecimiento de estos árboles es posible intercalar algún cultivo agrícola de poca altura, como camote, papa y frijol, entre otros. Dicha actividad se conoce como agroforestación y permite obtener ingresos adicionales, además de asegurar un flujo de caja durante el período previo a la comercialización de los árboles jóvenes.

5.1.7.3 Bosques de Producción:

Tradicionalmente se ha visto a la forestación como una actividad que permite desarrollar proyectos ambientales o recreativos, sin considerar que también puede generar productos comerciales de alta rentabilidad, incluso mayor que la actividad agrícola.

La alternativa que se propone con mayor frecuencia es el desarrollo de importantes áreas para la producción de madera. Este caso se trata del cultivo de especies de crecimiento vertical de reconocida calidad y con buen mercado. Son bosques con alta densidad de 2,000 a 5,000 unidades por hectárea. En principio se recomienda trabajar con especies comerciales nativas, porque están mejor adaptadas a las condiciones ambientales y son más apreciadas en los mercados locales. Las más utilizadas son eucaliptos, pinos, cipreses y casuarinas.

5.1.8. Parámetros de Calidad para el Uso de Aguas Residuales
- Guías de Calidad de Efluentes para la Protección de la Salud -

5.1.8.1 Directrices de la Organización Mundial para la Salud para la Agricultura:

La eliminación de elementos patógenos es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales para el aprovechamiento. Sin embargo, las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y normas para el aprovechamiento, frecuentemente se expresan según el máximo número permisible de bacterias coliformes fecales. Puesto que no existe duda sobre el origen fecal de las aguas residuales, se supone que estos microorganismos se pueden emplear como indicadores de patogenicidad y que existe una relación semicuantitativa entre los organismos patógenos y los indicadores. En la práctica, los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente fiables de los agentes patógenos bacterianos, ya que por lo general sus características de supervivencia en el medio ambiente y su índice de eliminación instantánea o paulatina en los procesos de tratamiento son similares. El grupo de coliformes totales es menos fiable como indicador, pues no todos los coliformes son de origen fecal y a menudo la proporción de coliformes fecales es muy elevada en los climas cálidos. Los coliformes fecales son indicadores satisfactorios de los virus excretados y tiene un uso muy limitado cuando se trata de protozoarios y helmintos, para los cuales no existen indicadores seguros.

Por lo general, las normas o directrices sobre la calidad de las aguas residuales que se pretenden emplear para riego de cultivos sin restricciones, incluso para el cultivo de legumbres y verduras para ensaladas que se consumen crudas, contienen reglas explícitas y requisitos mínimos de tratamiento.

En 1971, el grupo de expertos de OMS en aprovechamiento de efluentes, reconoció que las normas existentes eran extremadamente estrictas y que no encontraban justificación en las pruebas epidemiológicas y recomendó una directriz sobre calidad microbiológica del agua empleada para riego sin restricciones de verduras que se consumen cocidas, según la cual el número de coliformes totales no puede ser mayor de 100 por cada 100 ml.

Partiendo de estas nuevas pruebas, se recomendaron directrices que contienen normas menos estrictas que las establecidas anteriormente para coliformes fecales. Sin embargo, son más estrictas que las anteriores en lo que se refiere al número de helmintos que, según se reconoció, constituyen el mayor riesgo para la salud pública, especialmente en las zonas donde las helmintiasis son endémicas.

Basándose en las pruebas epidemiológicas, se recomienda una directriz sobre calidad bacteriológica de una medida geométrica de 1,000 coliformes fecales por cada 100 ml para riego sin restricciones de todo cultivo. El grupo llegó a la conclusión de que no necesita recomendar directrices sobre la calidad bacteriológica cuando los agricultores son el único grupo expuesto, ya que son pocas a nulas las pruebas de que esos trabajadores estén expuestos al riesgo de infección por bacterias. Sin embargo, conviene reducir hasta cierto punto la concentración bacteriana en las aguas residuales empleadas para cualquier fin.

La extinción paulatina natural de los agentes patógenos sobre el terreno constituye otro valioso factor de seguridad para reducir los riesgos potenciales para la salud. La inactivación de agentes patógenos por irradiación de rayos ultravioleta, desecación y depredadores biológicos

naturales cuando se emplean efluentes para riego de cultivos y del suelo, puede llevar a una reducción suplementaria de 90 a 99% de los agentes patógenos a los pocos días del empleo.

CUADRO 5

DIRECTRICES RECOMENDADAS SOBRE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EMPLEADAS EN AGRICULTURA

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales	Coliformes fecales	Tratamiento requerido
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parque públicos.	Trabajadores, consumidores público	< = 1	< = 1,000	Lagunas de estabilización o tratamiento equivalente que permita lograr la calidad microbiológica indicada.
B	Riego de cultivos de cereales, industriales y forrajeros, praderas y árboles	Trabajadores	< 1	No se recomienda ninguna norma	Retención en estanques de estabilización de 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego localizado en la categoría B, cuando ni los trabajadores ni el público está expuesto.	Ninguno	No se aplica	No se aplica	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, como mínimo sedimentación primaria.

5.1.8.2 Directrices Sanitarias para la Acuicultura:

Varias infecciones causadas por agentes patógenos son motivo de preocupación cuando se emplean aguas residuales en acuicultura. Los caracoles acuáticos son huéspedes intermedios de varios parásitos helmínticos, incluida la especie *Schistosoma*. La transmisión puede ocurrir cuando las personas se bañan en estanques de peces donde hay caracoles infectados, ya que las larvas de los esquistosomas penetran en la piel humana. Ciertas especies de peces son los huéspedes intermedios secundarios de varios parásitos helmínticos, por ejemplo de la especie *Clonorchis* (tremátodos). La transmisión ocurre cuando se consume pescado crudo o mal cocido; los quistes que contienen la carne del pescado se incuban en el intestino humano.

Algunos helmintos forman quistes en plantas acuáticas comestibles (por ejemplo la Fasciolopsis se enquista en el abrojo acuático) y la transmisión puede ocurrir cuando se consume la fruta de la planta. Los peces que crecen en estanques fertilizados con excretas o que contienen aguas residuales también se pueden contaminar con bacterias y virus. Estos son transportados pasivamente en las escamas o agallas, el líquido intraperitoneal, las vías digestivas o el músculo de los peces. El pescado que se consume crudo o mal cocido puede transmitir varias infecciones bacterianas o víricas.

Strauss analizó las publicaciones sobre supervivencia de agentes patógenos en el interior y la superficie del organismo de los peces y llegó a la conclusión de que:

- a) Es probable que las bacterias invadan el músculo de los peces cuando éstos se cultivan en estanques con coliformes fecales y Salmonellas en concentraciones superiores a 10^4 y a 10^5 por 100 ml. respectivamente.
- b) Ciertas pruebas sugieren que hay poca acumulación de organismos entéricos y agentes patógenos en el interior o en la superficie del tejido comestible de los peces, cuando la concentración de coliformes fecales en el agua de los estanques es inferior a 10^3 por 100 ml.
- c) Aún cuando la contaminación es menor, puede haber elevadas concentraciones de agentes patógenos en las vías digestivas y en el líquido intraperitoneal de los peces.

CAPÍTULO VI

6.1 CUANTIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

En este capítulo se presenta un resumen de la cuantificación y presupuesto del proyecto, el desglose de éste junto con el listado de materiales fue entregado a la Municipalidad de Villa Nueva para la ejecución de la obra.

No.	RENLÓN	SUB -TOTAL	TOTAL
1	MANO DE OBRA		
1.1	OBRAS ACCESORIAS	94,330.50	
1.2	TRATAMIENTO PRIMARIO	2,647,839.00	
1.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO	1,849,201.60	
1.4	TRATAMIENTO TERCARIO	1,096,788.00	
	TOTAL DE MANO DE OBRA		5,688,159.10
2	MATERIALES		
2.1	MANO DE OBRA		
2.2	OBRAS ACCESORIAS	383,416.60	
2.3	TRATAMIENTO PRIMARIO	105,369.60	
2.4	TRATAMIENTO SECUNDARIO	91,338.90	
2.5	TRATAMIENTO TERCARIO	67,511.30	
	TOTAL DE MATERIALES		647,636.40
3	COSTOS INDIRECTOS		
3.1	CAPACITACIONES	85,000.00	
3.2	ADMINISTRACIÓN DE CAMPO	129,600.00	
3.3	CUOTA PATRONAL IGSS Y PRESTACIONES	1,673,769.40	
3.4	EQUIPO Y HERRAMIENTA	95,000.00	
3.5	ESCALAMIENTO 15% DE MATERIALES	97,145.50	
3.6	IMPREVISTOS 8%	673,307.90	
3.7	PLANIFICACIÓN	636,273.10	
3.8	SUPERVISIÓN	318,136.60	
3.9	OPERACIÓN, MANTENIMIENTO	603,840.00	
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS		4,311,472.50
	COSTO TOTAL DE LA OBRA		10,647,868.00

1. Dentro del renglón de capacitaciones se tiene considerada la capacitación del personal que operará la planta y capacitaciones a nivel de líderes comunitarios.
2. El renglón de escalamiento se estimó debido a que no se tiene definida la fecha de inicio de ejecución de la obra, por lo que de ejecutase en un período corto este renglón se deberá omitir.
3. El costo de planificación es el valor comercial que se le da al diseño presentado en este trabajo de tesis.
4. Para poder verificar el buen arranque de la planta de tratamiento y poder garantizar su buen funcionamiento se consideró el renglón de operación, mantenimiento y monitoreo de las unidades durante un período de tres años, se recomienda que ésta sea monitoreada por una institución especializada en el tema.
5. En el renglón de mano de obra para las lagunas de estabilización se calculó el movimiento de tierras por metro cúbico de material.
6. El presupuesto se calculó estimando un tiempo de ejecución de la obra en 12 meses, contemplándose como salario para el personal administrativo el siguiente:
 - 1 Maestro de Obra Q 2,800.00 mensuales
 - 1 Planillero Q 2,300.00 mensuales
 - 1 Bodeguero Q 2,300.00 mensuales
 - 2 Guardianes Q 1,700.00 mensuales

CAPÍTULO VII

7.1 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.1.1 Descripción del Proyecto:

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (P.T.A.R) para el casco urbano del Municipio de Villa Nueva ha sido diseñada en base a Lagunas de Estabilización. Está conformada por 2 Lagunas Anaerobias Primarias, 1 Laguna Facultativa Secundaria y 1 Laguna Facultativa de Maduración. Como tratamiento preliminar se ha diseñado un canal de rejillas para la eliminación de sólidos de diámetro mayor a 2.5 centímetros.

La P.T.A.R. ha sido diseñada para dar servicio a una población al final del período de diseño (año 2015) de 65,500 habitantes (Sesenta y cinco mil quinientos), dentro de este total se ha considerado la población equivalente (11,000 habitantes), producida por la planta Frigoríficos de Guatemala S.A. (FRISA S.A.).

Dentro de la P.T.A.R. se dará un proceso puramente biológico, es decir que ésta ha sido diseñada para tratar las aguas servidas domésticas de la población, se considera que el aporte de FRISA S.A., al sistema no provocará ningún daño, ya que esta industria se dedica al rastro de pollos.

7.1.2 Arranque de la Planta:

Una vez concluida la construcción de la Planta de Tratamiento, viene la etapa de "Arranque", esta actividad es sumamente importante, en especial cuando se trata de 2 lagunas anaeróbicas, pues en general las bacterias anaeróbicas son de lenta generación y requieren de un largo período de aclimatación, caracterizado por la generación de malos olores. A continuación se presenta una serie de recomendaciones para que el operador pueda poner en marcha el sistema de lagunas con un mínimo de contratiempos.

7.1.2.1 Lagunas Anaerobias:

Deberán llenarse paulatinamente, admitiendo inicialmente un pequeño caudal, desviando el restante por el "By Pass", para dar tiempo a que se desarrolle una biomasa de metanobacterias que son de muy lenta multiplicación. En este caso deberá determinarse la población total a servir al inicio de la operación para poder determinar si es necesario desviar el caudal afluente. Se puede controlar el caudal admitido inicialmente, a través de la determinación del pH: bajo de 6.3 a 6.5 se mantiene el caudal; arriba de 6.5 a 6.8 se admite un caudal mayor.

Se recomienda arrojar a la laguna la mayor cantidad posible de estiércol fresco de ganado vacuno y caballar, como también el contenido de fosas sépticas que existan en la población. Con este proceso se inoculan las bacterias metánicas acelerando el proceso de aclimatación. Algunas veces, durante los primeros meses, debido al pequeño caudal, la laguna queda como facultativa, cambiando parcialmente a anaeróbica y finalmente queda completamente anaeróbica a medida que la carga aumenta. Es favorable que la laguna reciba de

una vez la carga total, ya que parcialmente requeriría de varios meses para alcanzar el estado de equilibrio.

Se deberá aguardar hasta que la primera laguna anaeróbica esté llena, para que su efluente empiece a llenar la laguna secundaria, en este período pueden existir malos olores, pero sólo hasta que haya una pequeña profundidad de agua capaz de sustentar la formación de algas. Como la planta está construida con dos unidades en paralelo, primero se deberá llenar la unidad primaria y observar el caudal efluente, que indica si inicialmente es necesario poner en operación la otra unidad.

7.1.2.2 Lagunas Facultativas:

Frecuentemente sucede que debido a que su área es relativamente grande y siendo el caudal de efluente todavía pequeño, exista una infiltración total del agua, secándose la laguna por un par de semanas. Esto es particularmente posible debido a que las lagunas facultativas son antecedidas por lagunas anaerobias, en donde existe gran sedimentación de sólidos suspendidos. Sin embargo, esta condición se corrige por si sola, con la disminución de la permeabilidad del fondo por formación de la biomasa en los poros del suelo en los primeros centímetros abajo del fondo.

Se deberá tener especial cuidado con la erosión de los taludes de las lagunas mientras no esté llena, especialmente después de lluvias que pueden lavar la tierra, llenándola de surcos, rellenando el fondo, provocando pérdida de capacidad.

Cuando la laguna está llena completamente, es posible que permanezca anaerobia por algún tiempo, para después pasar lentamente a facultativa. Por esta razón es conveniente llenarla lentamente, como en el caso de las lagunas anaerobias, observando el color; si queda de color verde aumentar la carga; si toma un color gris disminuir la carga hasta que se torne de color verde nuevamente.

7.1.2.3 Olores Iniciales:

Con frecuencia se desarrollan olores desagradables en los primeros meses de funcionamiento de cualquier tipo de laguna. Generalmente, es proveniente de la falta de una cantidad apropiada de biomasa. Es necesario esperar a que las lagunas lleguen a alcanzar un estado de equilibrio y que los olores iniciales desaparezcan por si mismos. Si los olores se tornaran insoportables, el operador deberá aplicar cal para ajustar el pH.

En caso que transcurra un tiempo razonable sin que las lagunas logren una profundidad de agua para que se inicien los procesos de tratamiento en éstas, se deberá considerar el bombear agua del río "Villa Lobos" para acelerar los procesos y evitar así los malos olores.

7.1.3 Mantenimiento Rutinario:

Una vez la planta haya entrado en funcionamiento rutinario, lo que puede demorar un año o más, las labores disminuyen mucho. Las tareas más comunes son las siguientes:

7.1.3.1 Canal de Rejas:

Las aguas residuales contienen materiales tales como: trapos, desperdicios, trozos de madera, Etc., que deberán ser removidos antes de ingresar a las unidades, debido a que pueden obstruir tuberías, canales, orificios, Etc.. El operador deberá observar el volumen del material acumulado en las rejas y determinar la frecuencia de limpieza (varias veces al día).

Los residuos recogidos en las rejas serán removidos con rastrillo. Algunas veces los operadores, al efectuar el rastrilleo, fuerzan el paso de los residuos a través de los espacios entre barras hacia los líquidos, esto anula el propósito de las rejas. La forma correcta de hacerlo es rastrillar cuidadosamente el material, hacia la plataforma de desagües, donde escurre el líquido sobrante. El material extraído, deberá ser enterrado ya que, exceptuando la incineración, es la única manera adecuada de disposición final de este material.

7.1.3.2 Material Flotante:

Ya sea debido a la abertura de las rejas o a la subida de los lodos del fondo o por cualquier otro motivo, aparecen condiciones indeseables en la superficie de las lagunas como acumulación de sólidos flotantes, tales como espumas, algas muertas, pequeños plásticos, trozos de madera, Etc., los cuales deberán ser removidos diariamente del canto de las lagunas (en donde son empujados por la acción del viento) por medio de rastrillo fino de mango largo. Este material removido deberá ser dispuesto de la misma forma que el extraído del canal de rejas.

Las algas pueden proliferar excesivamente y formar capas flotantes, que impedirán la penetración de la luz solar, interfiriendo con el funcionamiento normal de las lagunas. Las capas de algas muertas en descomposición producen malos olores.

En las lagunas anaerobias, el material flotante no debe de ser retirado, para que forme una capa aisladora de la atmósfera ayudando a prevenir los malos olores y conservando el calor resultante de la acción biológica anaeróbica. El mal aspecto de la capa flotante desaparecerá después que queda seca la superficie, dando la impresión de material sólido.

7.1.3.3 Césped, Vegetación y Maleza:

El césped (raíz superficial) no deberá llegar hasta el borde del agua, el operador deberá mantener una franja limpia de hierbas de unos 20 cm. Las malezas deberán ser retiradas, secadas al aire y quemadas. Se deberá prestar especial atención al surgimiento de jacintos acuáticos (*Eichhornia Crassipes*), los que deberán ser extraídos, secados y quemados. La vegetación acuática desarrollada en los taludes saliendo del agua junto a las orillas, deberá ser cortada bajo el nivel del agua para evitar la proliferación de mosquitos y caracoles de la schistosomiasis (planorbídeos).

7.1.3.4 Diques:

El operador deberá recorrer a pie todos los diques por lo menos una vez por semana y cada vez que llueva, para verificar la ocurrencia de erosión. Los daños deberán ser reparados. Si el daño se encuentra en el talud seco, deberá ser repuesta la tierra y el césped protector.

7.1.3.5 Mosquitos, Roedores, Arácnidos y Otros Animales:

Si el material flotante y el cribado son enterrados, los roedores difícilmente aparecerán. Los mosquitos son controlados con la manutención en estado de limpieza y sin vegetación en las márgenes de la laguna, pero, si aún así hay proliferación de insectos, puede aplicárseles insecticidas por medio de rociadores. Es necesaria la construcción de la protección de los espejos de agua para evitar la proliferación de insectos.

7.1.3.6 Cercos y Caminos de Acceso:

Deberán inspeccionarse los cercos y repararse los daños. Para ésto deberá mantenerse en la planta los materiales (alambre de púas, postes, clavos) y herramientas necesarias.

7.1.3.7 Muestreo:

El operador deberá tomar muestras en las entradas y salidas de cada estanque y acondicionarlas de acuerdo con las instrucciones de un eventual laboratorio central. Asimismo, podrán encargársele determinaciones sencillas como temperatura, sólidos sedimentables (Cono Imhoff), pH, transparencia, olor y color. Se le suministrará al operador formularios para registro de los datos encontrados.

7.1.3.8 Medidas de Caudal:

En los lugares en que haya instalado un medidor, el operador deberá leer y registrar el caudal de acuerdo con las instrucciones de la jefatura.

7.1.4 Extracción y Disposición Final de Lodos:

Extracción de Lodos: Durante los primeros años de operación, el lodo se acumula sobre el fondo de la laguna. El proceso biológico anaerobio comienza a digerir la fracción volátil del lodo, aproximadamente a la misma velocidad de la sedimentación, haciendo que la acumulación de lodo se deba revisar una vez por año. Si ésta fuera mayor que un tercio de la profundidad de la laguna, puede llegar a bloquear la tubería de alimentación.

La frecuencia con que esto se presenta, depende de las condiciones locales y del tipo de laguna. Anualmente se deberá medir la profundidad del lodo cerca del dispositivo de entrada a la laguna. La frecuencia de remoción de lodos en las lagunas anaeróbicas es de 1 a 2 años, cuando el lodo alcance una profundidad de 0.75 a 1.00 m., en el caso de las lagunas facultativas la remoción del lodo se hará cada 8 a 10 años, cuando el lodo alcance 0.5 m. de profundidad, en lagunas de maduración se espera una limpieza cada 10 años.

Para el drenado de las lagunas se deberá proceder de la siguiente manera: Si las lagunas están conectadas en serie, desviar el flujo de alimentación de la laguna a ser drenada a la siguiente laguna de la serie. Si las lagunas están conectadas en paralelo, desviar toda el agua afluente a las demás lagunas. Después del drenado, permitir que el lodo se seque con el sol, esto puede tomar varias semanas. Cuando el lodo se ha secado perfectamente, se procede a sacarlo por el medio que se disponga (carretillas, tracción animal, con equipo mecánico, Etc.). Una forma de reducir los volúmenes de lodo a retirar consiste en la incineración del lodo utilizando petróleo como combustible inicial, una vez encendido el lodo seco el fuego se va esparciendo lentamente por toda la laguna, dejando una ceniza fina con un 5 a 10% del volumen inicial.

Mientras la laguna está vacía, revisar las tuberías y dispositivos de alimentación y efectuar las reparaciones o reemplazos pertinentes. El lodo seco extraído o su ceniza se dispone en terrenos de relleno o en otros sitios de entierro. En el Cuadro 6 se presentan las principales acciones de mantenimiento periódico que se deberán realizar en las lagunas.

CUADRO 6

ACCIONES DE CONTROL DE MANTENIMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

ÁREA INSPECCIONADA	CONDICIÓN O PROBLEMA	DIRECCIÓN O ACCIÓN
Sitios alrededor de la laguna.	Crecimiento de arbustos o malezas.	Cortar y remover.
Pendiente exterior y parte superior de los bordes.	Erosión por el viento.	Rellenar con tierra y sembrar pasto.
Pendiente exterior y parte superior de los bordes.	Pasto grande o maleza.	Segar el pasto, cortar las malezas y remover lo cortado.
Malla Perimetral.	Oxidación por falta de pintura o roturas.	Pintar y reparar.
Borde de las lagunas.	Malezas.	Cortar y remover.
Salida de las lagunas.	Acumulación de residuos en la pantalla.	Remover los residuos.

Las aguas residuales pueden provocar corrosión en los elementos metálicos presentes en la planta (rejas, interconexiones, Etc.), por lo que se recomienda renovar la pintura cuando sea necesario.

La aparición de olor o cambio de color en el agua, es señal de que se está produciendo un cambio importante en el funcionamiento de la laguna, al ocurrir este hecho, se deberá averiguar inmediatamente la causa.

7.1.5 Evaluación Operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas:

Las condiciones hidráulicas y biológicas que forman parte del proceso de tratamiento de lagunas de estabilización, pueden verse afectadas por una serie de factores. Algunos de éstos son fácilmente controlables y otros son por su propia naturaleza incontrolables, debiendo ser considerados con buen criterio, de modo que su interferencia sea despreciable y simultáneamente benéfica para los equilibrios hidráulicos y biológicos, previamente establecidos en el proyecto de lagunas de estabilización.

Dentro de los factores no controlables se encuentran los meteorológicos (evaporación, temperatura, vientos, Etc.), los que deberán tenerse presentes en el diseño de las lagunas de estabilización. También hay otros factores controlables como: carga orgánica aplicada, tiempo de retención, profundidad de operación, Etc.

Para que las lagunas operen favorablemente es necesario mantener las condiciones que favorezcan el desarrollo de los microorganismos encargados de la estabilización de la materia orgánica. Por lo tanto la carga orgánica, el tiempo de retención y la profundidad de las lagunas, son parámetros que deberán mantenerse dentro de los requisitos establecidos, para la buena operación de las lagunas.

Deberán tenerse en cuenta también otros factores (parámetros operacionales) que tienen relación directa con el funcionamiento de las lagunas y su control. Estos parámetros son: caudal, pH, oxígeno disuelto, remoción de DBO, sólidos suspendidos, remoción de Coliformes y concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Para mejorar las condiciones de funcionamiento de las lagunas y la eficiencia en el tratamiento, se requiere de programas en el monitoreo y análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos, en forma periódica.

Generalmente, se recomienda la determinación periódica de la concentración de materia orgánica DBO, así como la cantidad de coliformes en el afluente como en el efluente; las medidas adicionales para permitir el mejor control del funcionamiento de las lagunas son:

- Variaciones de oxígeno en las lagunas
- pH del afluente y del efluente
- Sólidos totales, suspendidos y volátiles en el afluente y efluente
- Nitrógeno total, orgánico, amoniacal, nitratos y fosfatos en el afluente y efluente
- DBO₅ a 20°C

Los parámetros de frecuencia diaria y semanal, tales como temperatura del agua, pH, color y OD, podrán ser determinados por el operador. Los demás parámetros se determinarán en el laboratorio, estos resultados deberán anotarse en las hojas de registro. (Cuadros 7 y 8)

CUADRO 7

**PARÁMETROS OPERACIONALES
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

PARÁMETROS	MÍNIMO	IDEAL
FÍSICO-QUÍMICOS		
CAUDAL		
Afluente a la planta	1 por día	continuo
Efluente a la planta	1 por semana	
EN CADA UNIDAD		
Profundidad de operación	1 por semana	1 por día
Temperatura del agua	1 por semana	1 por día
pH	1 por semana	1 por día
Color	1 por día	
Oxígeno disuelto OD	1 por semana	
DBO		
Afluente a la planta	2 por mes	1 por semana
Efluente a la planta	2 por mes	1 por semana
Sólidos Suspendidos		
Afluente a la planta	2 por mes	1 por semana
Efluente de la planta	1 por mes	
BIOLÓGICOS		
Coliformes (totales y fecales)		
Afluente a la planta	1 por mes	
Efluente de la planta	1 por semana	
METEOROLÓGICOS		
Temperatura ambiente	diaria	
Precipitación	diaria	
Evaporación	diaria	
Nubosidad	diaria	
Dirección del viento	diaria	
Fuerza del viento	diaria	

CUADRO 8**MEDICIONES SUGERIDAS EN EVALUACIÓN DE RUTINA
DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

MEDICIÓN O DETERMINACIÓN	MÍNIMO	ADECUADO
OBSERVACIONES BÁSICAS		
Caudal	Observación diaria	Registro continuo
Apariencia	Observación diaria	Observación diaria
Natas y lodos	Observación diaria	Observación diaria
Estado de diques	Observación diaria	Observación diaria
Viento y nubosidad	Observación diaria	Observación diaria
Material cribado	Medición diaria	Medición diaria
Vegetación en diques	Observación diaria	Observación diaria
ANÁLISIS DE DBO		
Total del afluentes	Mensual	Quincenal
Total y soluble del efluente	Mensual	Quincenal
ANÁLISIS DE COLIFORME FECAL DEL AFLUENTE Y EL EFLUENTE		
	Mensual	Quincenal
TEMPERATURA DEL CRUDO Y DE LAS LAGUNAS		
	Diaria	Diaria
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DEL EFLUENTE		
	Mensual	Quincenal
PARÁMETROS CALCULADOS		
Carga orgánica (Kg. DBO/Ha/día)	Mensual	Quincenal
Eficiencia de remoción de DBO	Mensual	Quincenal
Eficiencia de remoción de C.F.	Mensual	Quincenal
Período de retención	Diario	Diario

7.1.6 Administración del Sistema:

Con el fin de lograr un buen funcionamiento de la Planta diseñada es necesario garantizar, independientemente de una apropiada Operación y Mantenimiento, un adecuado sistema de administración, considerándose en este renglón los costos necesarios para cubrir los gastos de Operación y Mantenimiento para lograr el buen funcionamiento del sistema y contar con los fondos necesarios para cubrir cualquier gasto que se incurra por concepto de reparaciones. Para lograr este objetivo es necesario que la Municipalidad de Villa Nueva cree un fondo privativo que sirva para operar la Planta.

Dentro del presupuesto del sistema se calculó que el costo de operación y mantenimiento del sistema es de Q.16,773.33 (diez y seis mil setecientos setenta y tres quetzales con treinta y tres centavos) mensuales. En este renglón se considera la toma de muestras y el pago de personal para realizar las actividades descritas en Operación y Mantenimiento. A este costo deberá sumársele un 50 %, para crear un fondo que sea destinado para cubrir los gastos de reparación que no han sido considerados dentro de las actividades rutinarias de OyM. Por lo que el costo mensual será de Q.25,160.00 (veinticinco mil ciento sesenta quetzales exactos). Lo que implica un aporte por habitante de Q.0.40 (cuarenta centavos de quetzal).

Se recomienda que este costo sea agregado al de mantenimiento de las redes de alcantarillado y que éste sea cobrado en un recibo único junto con la tasa por el servicio de agua del municipio. Los costos calculados no incluyen los gastos de administración, ya que éstos dependen de los gastos de funcionamiento de la municipalidad, por lo que habría que sumárselos para determinar la tasa mensual del servicio.

CAPÍTULO VIII

8.1 IMPACTO AMBIENTAL Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN

8.1.1 Impacto Ambiental:

El impacto ambiental de un proyecto, tiene variadas connotaciones ya que éste no solo es un análisis de la obra de infraestructura como tal, sino que también debe contemplar elementos políticos, sociales, culturales, económicos, ecológicos, Etc.

Se define como impacto ambiental a cualquier alteración de las condiciones ambientales normales en un área determinada o a la creación de un nuevo conjunto de condiciones ambientales, éstas pueden ser adversas o beneficiosas y pueden ser provocadas por la acción humana o por fuerzas naturales.

De acuerdo al "Reglamento sobre Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental" elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente -CONAMA- en el Capítulo IV Artículo 11 en Elegibilidad dice "Todas las Municipalidades, así como todos los Ministerios de Estado o dependencias del Gobierno de la República, previo a autorizar u otorgar permiso o licencia alguna de proyectos de la naturaleza de los que están especificados en el Anexo 2 de este reglamento deberán de exigir al solicitante la presentación del Estudio de la Evaluación del Impacto Ambiental ante CONAMA y la correspondiente resolución, antes de proceder a tomar la decisión o ejercer acción alguna en cuanto al proyecto o actividad".

Por ser este proyecto de protección ambiental, no se encuentra dentro del Anexo 2 del Reglamento por lo que no es necesario realizar un Estudio de Impacto Ambiental, ya que el impacto que se provocará con la construcción de esta obra será más positivo que negativo, es decir, que se logrará reducir en un alto porcentaje la contaminación que provoca la descarga de las aguas residuales del casco urbano del municipio al Río Villa Lobos.

Para cumplir con el Reglamento es necesario llenar el Formulario Ambiental (Anexo 3) de este reglamento, para verificar sobre el tipo de obra a construir y sus posibles impactos sobre su área de influencia.

8.1.1.1 Impactos Positivos:

Debido a que el cuerpo receptor es el Río Villa Lobos, el cual ya se encuentra totalmente contaminado por recibir aguas arriba las descargas del municipio de Mixco y de la Ciudad Capital y aguas abajo de los Municipios de Villa Canales, San Miguel Petapa y Santa Elena Barrillas y ser este afluente directo al Lago de Amatitlán, el cual se encuentra en estado de eutroficación, existe un compromiso político para sanear toda la cuenca, por lo que este proyecto estaría beneficiando en parte este proceso. Se puede considerar que el componente político de este proyecto es positivo.

En lo que respecta al componente económico, las aguas tratadas podrán utilizarse para el riego de cultivos y viveros forestales. Debido a las características de las aguas, se mejoraría la producción agrícola, tanto en cantidad como en calidad.

El Lago de Amatitlán es uno de los pocos centros de recreación que existen cerca de la ciudad capital por lo que su protección y cuidado es de beneficio social, cultural y ecológico. Es en este punto donde se puede analizar el otro grupo de componentes positivos para la realización de este proyecto, que si bien es cierto con la ejecución de esta obra no se mejorará el ciento por ciento la situación actual del Río Villa Lobos y del Lago de Amatitlán pero contribuirá a mejorar en una parte la problemática existente.

8.1.1.2 Impactos Negativos:

Como suele ocurrir en todo tipo de proyectos de esta naturaleza, no todos los aspectos son positivos ya que siempre existe la posibilidad de que ocurran situaciones que puedan ocasionar daños al medio ambiente. En este caso los aspectos que se han analizado no son tan críticos debido a que los impactos negativos que pueden causar no provocarían mayores daños a los que ya existen sin la construcción de este sistema.

El principal aspecto negativo que puede surgir en el momento que se encuentre operando la Planta de Tratamiento es la producción de malos olores. Éstos podrían ser causados por una sobre carga orgánica en el sistema o por un descenso brusco en la temperatura ambiental. También podría surgir el crecimiento de roedores como ratones, ratas o el crecimiento de insectos como zancudos, mosquitos y cucarachas. Por ser de un material arenoso el área en donde se construirá la planta de tratamiento, podría provocar la contaminación del manto freático por infiltración.

No se debe de olvidar que el ornato es un elemento muy importante, debido a que cerca del área en donde se construirán las lagunas de estabilización se encuentra una carretera muy transitada y existen varias colonias pertenecientes al municipio de Villa Nueva. Lo que podría provocar problemas con los habitantes del lugar de no ser controlado este aspecto.

8.1.1.3 Medidas de Mitigación:

Todos los aspectos mencionados anteriormente contribuirían a que no fuera posible la construcción de la Planta de Tratamiento, ya que existiría oposición de diversas instituciones encargadas de velar por el ambiente y de las personas que viven en los alrededores del área en donde se construirá la Planta.

Para evitar estos problemas se han diseñado dentro del proyecto varias medidas para evitar que estos impactos negativos perjudiquen en la construcción del sistema. A estas medidas se les conoce como medidas de mitigación de impactos negativos y son las siguientes:

8.1.1.3.1 Medidas de Mitigación para los Malos Olores:

Para prevenir la producción de malos olores, especialmente en las lagunas primarias, es necesario como primer paso, que la operación mantenimiento y arranque de estas unidades se realice de acuerdo a los lineamientos dictados en el capítulo de Operación y Mantenimiento.

En caso de producirse malos olores debido al cambio brusco de la temperatura y/o de la carga orgánica en las aguas residuales crudas, es necesario construir un cerco "vivo" en el perímetro de la planta de tratamiento.

Este consiste en plantar árboles frondosos y altos en todo el perímetro del predio, especialmente en la parte norte del área, para evitar que en el momento en que se produzcan estos olores el viento los esparza por las colonias vecinas y esto provoque malestar en los habitantes del lugar. Esto ayudaría a crear un aspecto positivo en el ornato del área ya que daría el aspecto de un bosque.

8.1.1.3.2 Eliminación de Roedores e Insectos:

Este es otro aspecto que depende de la operación y mantenimiento del sistema ya que la forma de evitar el crecimiento de roedores en el área de la planta es evitando el crecimiento de maleza.

Este aspecto es importante también para evitar la propagación de insectos como mosquitos, moscas y zancudos, ya que éstos buscan la sombra de la maleza para su crecimiento. En este punto es necesario indicar que deberá variarse la altura del espejo de agua, especialmente en las lagunas secundaria y terciaria, en más o menos 15 centímetros, ya que esto evita el crecimiento de la larva del zancudo.

8.1.1.3.3 Contaminación del Nivel Freático:

Debido a que los recursos hídricos del país se encuentran contaminados en gran parte, es necesario proteger los recursos hídricos subterráneos. Es por esta razón que se consideró dentro del diseño del sistema, la impermeabilización de las paredes y el fondo de las unidades, esto evitaría principalmente la filtración de las aguas al manto freático y a la vez evitaría que se dieran pérdidas hidráulicas dentro de las unidades, lo que provocaría el mal funcionamiento del sistema y posibles malos olores.

Es necesario tomar muy en cuenta los aspectos negativos que puede generar la construcción de la Planta de Tratamiento, pero evaluados en relación al beneficio que producirá, éstos son insignificantes, especialmente si se toma en cuenta que fueron analizados y que dentro del proyecto se encuentran las medidas de mitigación que evitarán que éstos causen mayores problemas.

Es necesario dejar claro que la principal medida de mitigación es realizar una buena operación y mantenimiento del sistema ya que esto minimizará los problemas que puedan existir.

CONCLUSIONES

1. Es necesario llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como domiciliarias, para proteger los recursos hídricos del país, la ecología y el medio ambiente, pero principalmente proteger la salud de las personas.
2. La legislación en vigencia no se está aplicando para las descargas de las aguas residuales crudas, tanto domiciliar como industrial, esto provoca la contaminación de las fuentes de agua y el deterioro del medio ambiente y por consiguiente pone en peligro la salud de las personas.
3. El uso de lagunas de estabilización para tratar las aguas residuales domiciliarias, es una alternativa adecuada para el país, ya que permite la remoción de elementos patógenos sin necesidad de usar químicos o mecanizar el sistema, lo que permite reducir los costos de operación y mantenimiento del sistema.
4. De acuerdo al pronóstico de la calidad del efluente de la Planta de Tratamiento, el agua tratada puede utilizarse para riego de algunos tipos de cultivos y viveros por su gran contenido de nutrientes, esto disminuiría el uso de fertilizantes y mejoraría la calidad de las cosechas.

RECOMENDACIONES

1. Por ser de gran importancia la ejecución de una obra de esta magnitud, se recomienda que este estudio sea presentado a las diferentes instituciones financieras, en busca de que éstas proporcionen los recursos necesarios para la construcción del sistema.
2. La Municipalidad de Villa Nueva deberá crear un fondo privativo que sea utilizado para la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento. Éste deberá ser financiado por la cuota mensual que se le deberá cobrar a todos los usuarios, unificando la facturación con los servicios de agua.
3. En el momento de estar en funcionamiento la Planta de Tratamiento deberán evaluarse las constantes utilizadas y la eficiencia en la remoción de patógenos, para establecer constantes a nivel nacional que puedan utilizarse con toda confianza.
4. La venta de las aguas residuales tratadas generarían un ingreso para la autosostenibilidad del sistema y beneficiaría a los agricultores por ser sanitariamente segura.

REFERENCIAS

1. Informe del Curso **"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN"**.
Organizado por: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria AGISA
Colegio de Ingenieros de Guatemala CIG
Ministerio de Salud Pública
Organización Panamericana para la Salud OPS/OMS
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y
Ciencias del Ambiente CEPIS.
Guatemala, 1991

2. Informe del Curso-Taller **"LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, TEORÍA, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, EVALUACIÓN Y MANTENIMIENTO"**
Organizado por: Ministerio de Salud del Perú DIGESA
Universidad Nacional de Ingeniería UNI
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y
Ciencias del Ambiente CEPIS.
Lima, Perú 1996

3. Informe del Curso-Taller **"CRITERIOS DE SELECCIÓN Y DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"**
Organizado por: Proyecto de Saneamiento Ambiental Urbano PROSANA
CARE Guatemala
Guatemala, 1996

4. Informe del Curso-Taller **"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON ÉNFASIS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DISEÑO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO"**
Organizado por: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria AGISA
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos ERIS
Instituto de Fomento Municipal INFOM
Organización Panamericana de la Salud OPS
CARE Guatemala
Guatemala, 1998

5. Informe del Curso **"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS SÓLIDOS"**
Organizado por: Universidad de San Carlos de Guatemala USAC
Universidad Politécnica de Madrid
Agencia de Cooperación Internacional ACI
Guatemala, 1998

6. **REGLAMENTO DE REQUISITOS MÍNIMOS Y MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACIÓN PARA LA DESCARGA DE AGUAS SERVIDAS**
Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA.
Guatemala, 1989

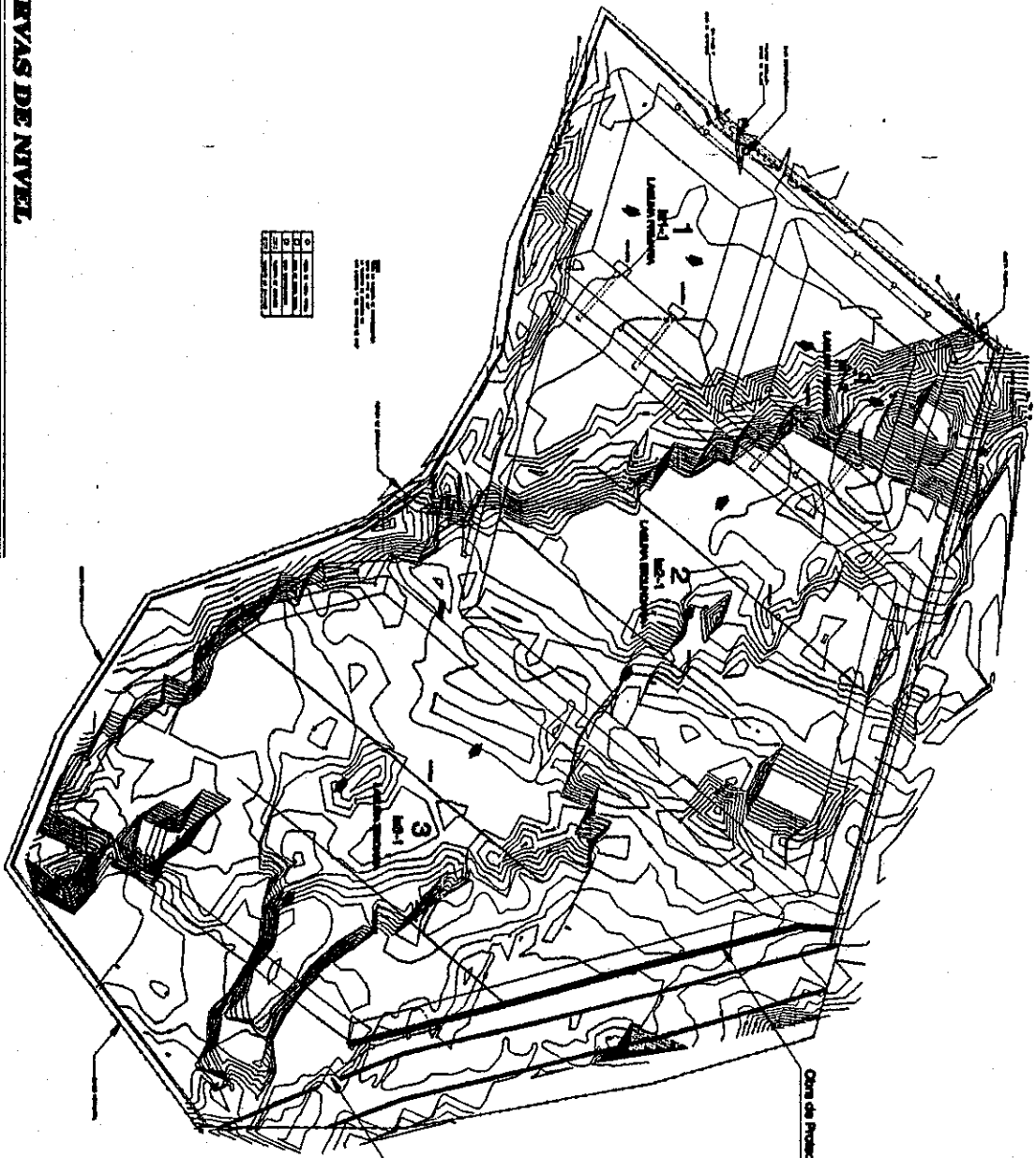
BIBLIOGRAFIA

- Hachette Castell DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO
Ediciones Castell, España 1981
- León S. Guillermo CURSO DE TRATAMIENTO Y USO DE AGUAS RESIDUALES.
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS
División de Salud y Ambiente OPS/OMS
Lima, Perú, 1997
- Metcalf & Eddy, INC. INGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES, TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACIÓN.
3ª. Edición, México; Editorial MacGraw-Hill, 1996
- Merrit S, Frederick MANUAL DEL INGENIERO CIVIL
1ª. Edición en español, México; Editorial MacGraw-Hill, 1989
- Moscoso Cavallini, Julio PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: REUSO EN ACUICULTURA DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JUAN.
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS
División Salud y Ambiente OPS/OMS.
Lima Perú, 1992
- Oakley M. Stewart. Ph.D. MANUAL: DISEÑO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN HONDURAS.
Fondo Hondureño de Inversión Social / USAID, 1997
- Oakley M. Stewart. Ph.D. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS: LAS EXPERIENCIAS EN HONDURAS, NICARAGUA, EL SALVADOR Y GUATEMALA.
Red Regional de Agua y Saneamiento de Centro América RRAS-CA
Tegucigalpa, Honduras, 1997
- Yáñez Cossío, Fabián. Ph.D. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, TEORÍA, DISEÑO, EVALUACIÓN Y MANTENIMIENTO.
Imprenta Monsalve
Cuenca Ecuador, 1993

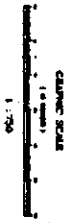
ANEXO

LISTADO DE PLANOS

• Plano de Curvas de Nivel	1/15
• Plano de Ubicación de Unidades	2/15
• Plano de Secciones Típicas de las Lagunas	3/15
• Plano de Perfil Hidráulico	4/15
• Plano de Detalles Especiales y Caja de Demasías con Rejas	5/15
• Plano de Plantas y Secciones de Conjunto de Bodega	6/15
• Plano de Planta de Instalaciones Eléctricas, Sanitarias e Hidráulicas	7/15
• Plano de Caja Distribuidora de Caudales	8/15
• Plano de Caja Unificadora de Caudales	9/15
• Plano de Cabezal de Descarga	10/15
• Plano de Detalle de Portón y Cerco Perimetral	11/15
• Plano de Cimentaciones y Detalles de Columnas	12/15
• Plano de Pozos y Cajas de Visita Típicos	13/15
• Plano de Detalles de Dispositivos de Impermeabilización y Drenaje	14/15
• Plano de Planta y Detalles de Canal de Rejas y Pálmer Bowlous	15/15



1
CURVAS DE NIVEL
 ESCALA: 1:750



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Cinta de Producción 2.00 ml. de Ancho

Información General



Simbología:
 Línea gruesa
 Línea delgada
 (Generalización automática)

Proyecto: MANTENIMIENTO DE LA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS
 Ubicación: WILDA NIEVA, GUANDÁZAR

Coordenadas:
 UTM: 18Q UTM: 18Q
 Easting: 720 North: 9120

Objetivo:
 - LOCALIZACIÓN DE UNIDADES P.T.A.R.
 - LOCALIZACIÓN DE LAGUNAS

Organismo:	INstituto Nacional de Estadística y Censos
Departamento:	Departamento de Estadística y Censos
Proyecto:	Proyecto de Mantenimiento de la Red de Estaciones Meteorológicas
Título:	

CINE
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS
 AVDA. LA REFORMA 6-64, ZONA 9
 P.O. BOX 10000, LA HABANA, CUBA
 TEL. 783-1139

Información General

Sanidad (r) Polígono General
 100 (CANALIZACIÓN SUCIEDAD)

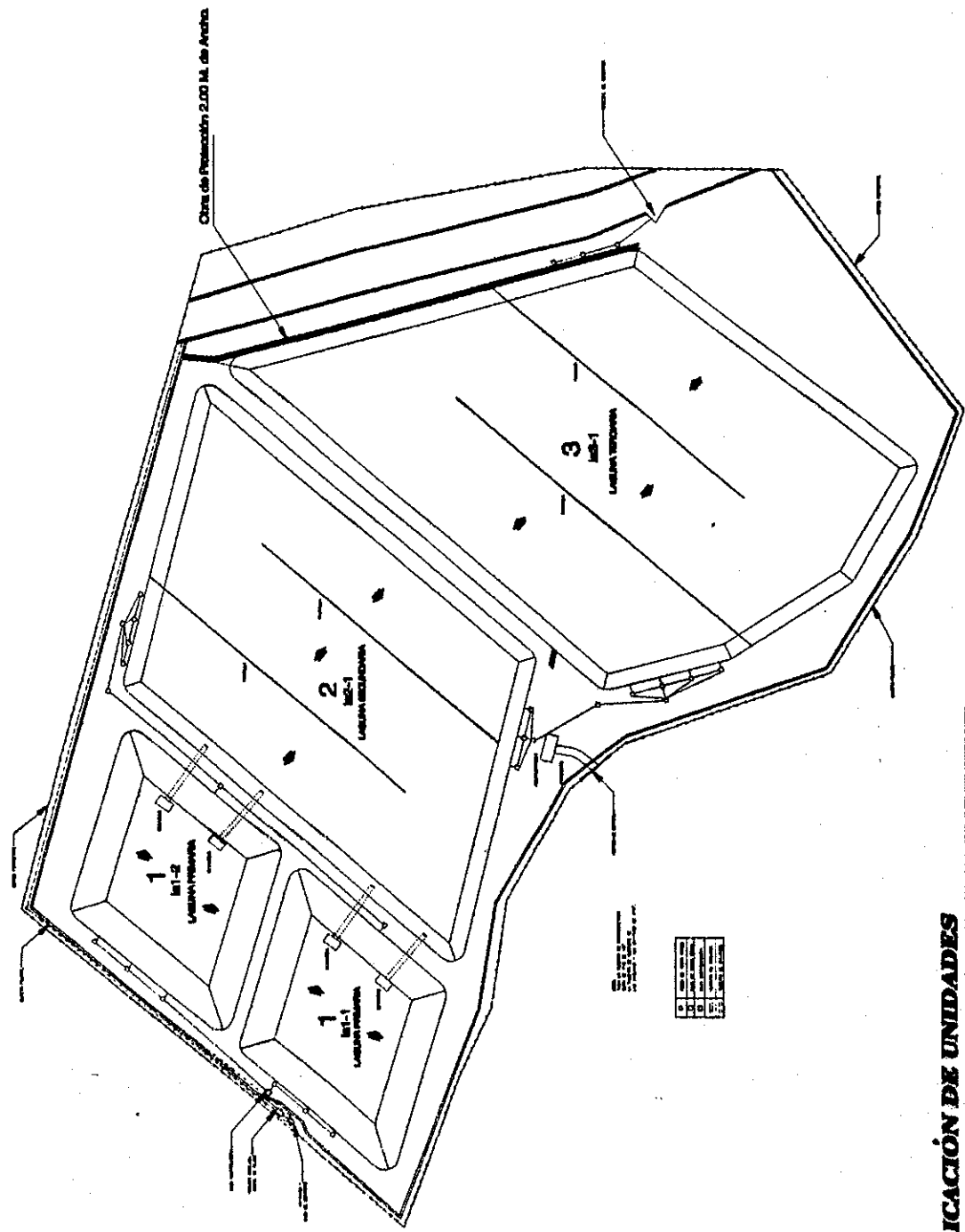


Proyecto: PLANTA DE TRATAMIENTO
 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN METEOROLÓGICAS
 MUNICIPIO: HELLA MEXICO, GUATEMALA

Contrato:
 - LOCALIZACIÓN DE UNIDADES
 P.T.A.R.
 - LOCALIZACIÓN DE LAGUNAS

Director: JACINTO RAMÍREZ, JERÓNIMO BARRA
 Diseñador:
 Dibuja:
 Revisa:
 Valora:

CARE
 AVENIDA LA REFORMA 8-54, ZONA 9
 PLAZA CORPORATIVA AERONAUTA
 TORRE 1 de la SECEL
 TEL: 233-1174



UBICACIÓN DE UNIDADES

ESCALA 1:750

GRAPHIC SCALE
 1:750



Proyecto: PLANTA DE TRATAMIENTO
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN AVANZADAS
UBICACION: VILLA NUEVA, CHILEMBA

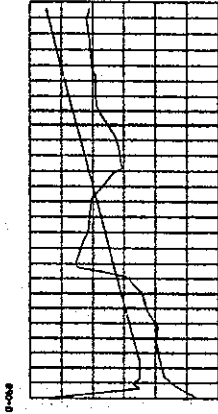
Fecha: Septiembre de 1988
Escala: 750
Diseño: RSP
Dij: RSP

CONTENIDO
- SECCIONES TÍPICAS
DE LAGUNAS

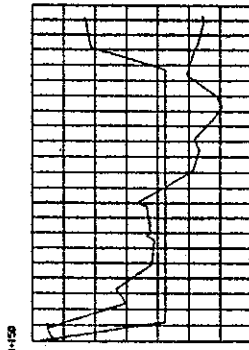
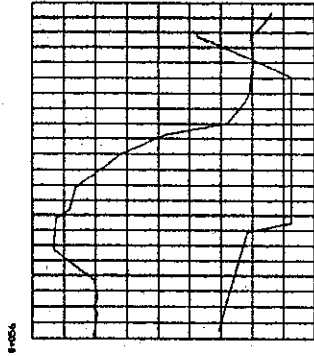
Elaborado por: VICTOR SAMUEL ARRIAZA RIZZ
Dibujó:
Revisó:
Aprobó:

SECTORES
SAGU
CORPORACIÓN CHILENA DE AGUAS Y
SANEAMIENTO S.A. - S.A. - S.A.
PLAZA CORPORATIVA RECTORIA
SANTO DOMINGO, N.º 100
TEL. 338-1139

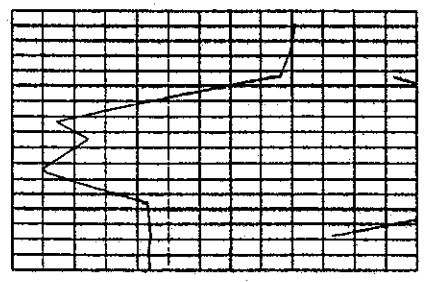
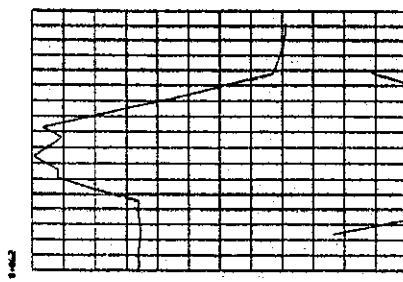
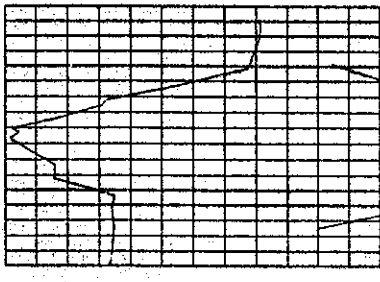
SECCIONES DE LAGUNA TERCERIA



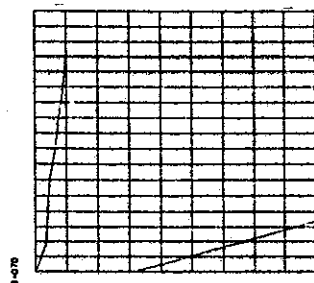
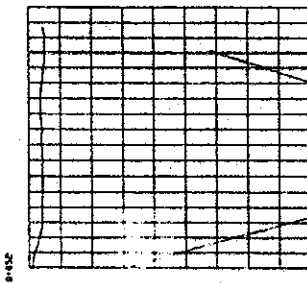
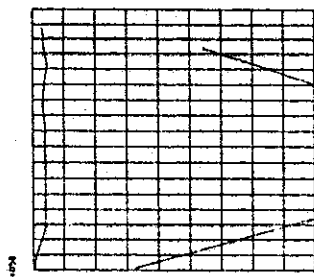
SECCIONES DE LAGUNA SECUNDARIA



SECCIONES DE LAGUNA PRIMARIA No. 2



SECCIONES DE LAGUNA PRIMARIA No. 1



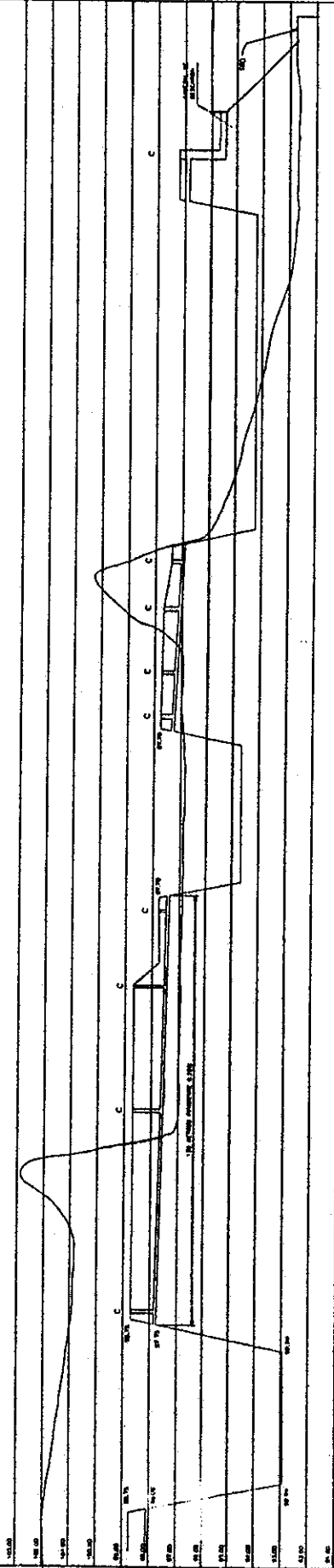
2 SECCIONES TÍPICAS DE LAS LAGUNAS
ESCALA 1: 750

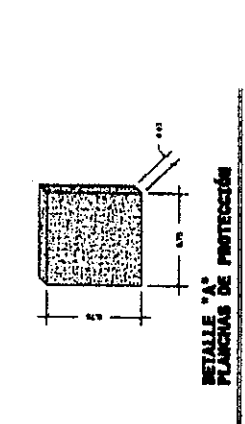
GRUPO ESCALA
1: 750
1: 750

CARE	OFICINA DE COORDINACIÓN TÉCNICA Y PROGRAMÁTICA
	UNIVERSIDAD DEL SAZARANDINO, BUENOS AIRES
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CASCO URBANO	
PERFIL HIDRÁULICO	
CANTON: VILLA MERCEDES PROVINCIA: BUENOS AIRES	
VOTO: 15.000.000,00 ANEXO: 15.000,00	

PERFIL HIDRÁULICO

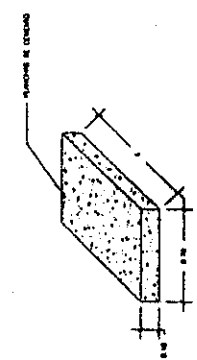
ESCALA 1:75





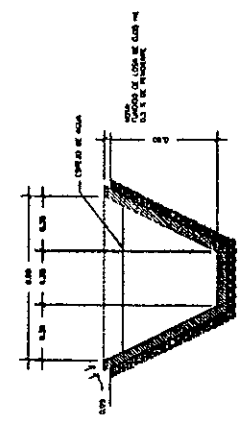
**DETALLE "A"
PLANCHAS DE PROTECCIÓN**

EN ESCALA



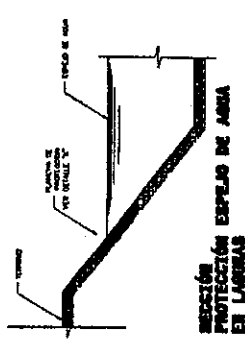
**DETALLE "B"
RODEA VERTICAL**

EN ESCALA



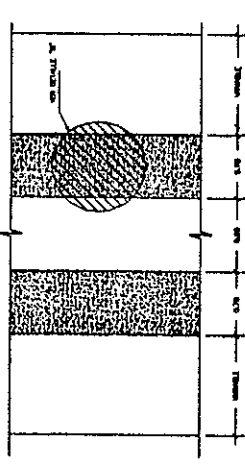
**DETALLE C
RIEVE DE PROTECCIÓN ANCHO DE LLUVIA**

EN ESCALA



SECCIÓN PROTECCIÓN ESPALDA DE ANCHO EN LADRILLOS

EN ESCALA



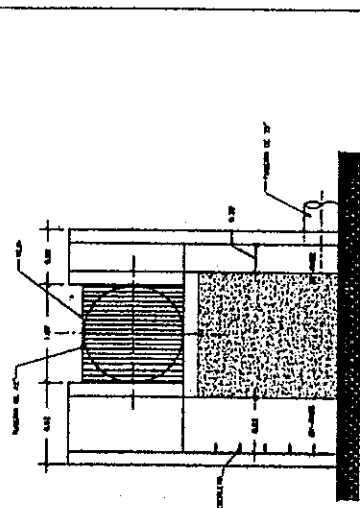
SECCIÓN DE TRAMO CANTARILLADO VERTICAL

EN ESCALA



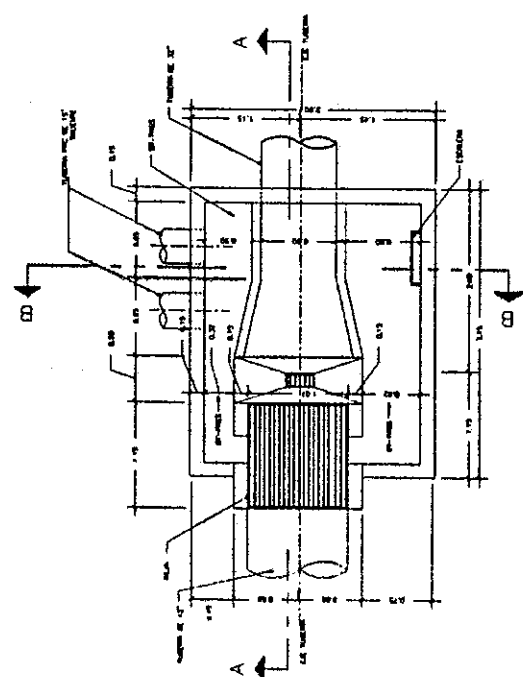
SECCIÓN DE TRAMO CANTARILLADO VERTICAL

EN ESCALA



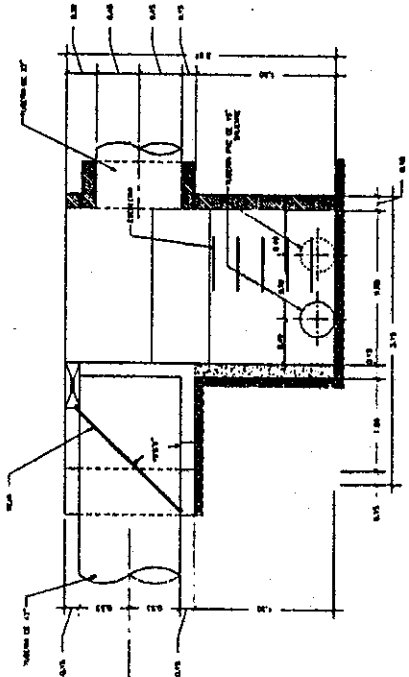
**SECCIÓN B-B
CAJA DE DESAGÜES CON REJAS**

EN ESCALA



PLANTA DE CAJA DE DESAGÜES CON REJAS

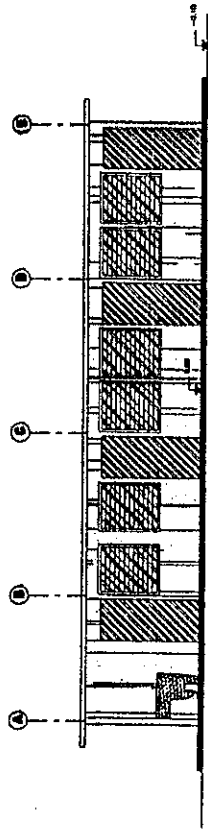
EN ESCALA



**SECCIÓN A-A
CAJA DE DESAGÜES CON REJAS**

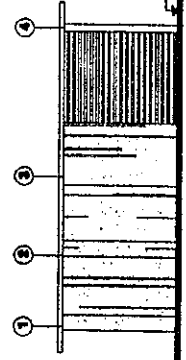
EN ESCALA

CARE	COMISIÓN DE COORDINACIÓN TÉCNICA Y PROGRAMÁTICA	
	SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS	
PLANO DE TRATAMIENTO DE AGÜES RESIDUALES - CARGO DEBANDA		
DETALLES ESPECIALES Y CAJAS DE DESAGÜES CON REJAS		
Calidad	Yalla Nueva	No. de Proyecto
Elaboración	Gerencia	
Revisión		No. de Hoja
Aprobación		
NOMBRE DEL AUTOR DEL PROYECTO		No. de Hoja



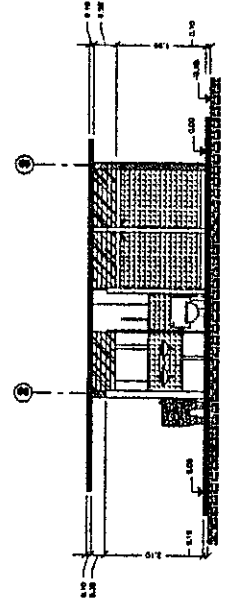
ELEVACION FRONTAL COMPLEJO BOGUSA

ESCALA 1:50



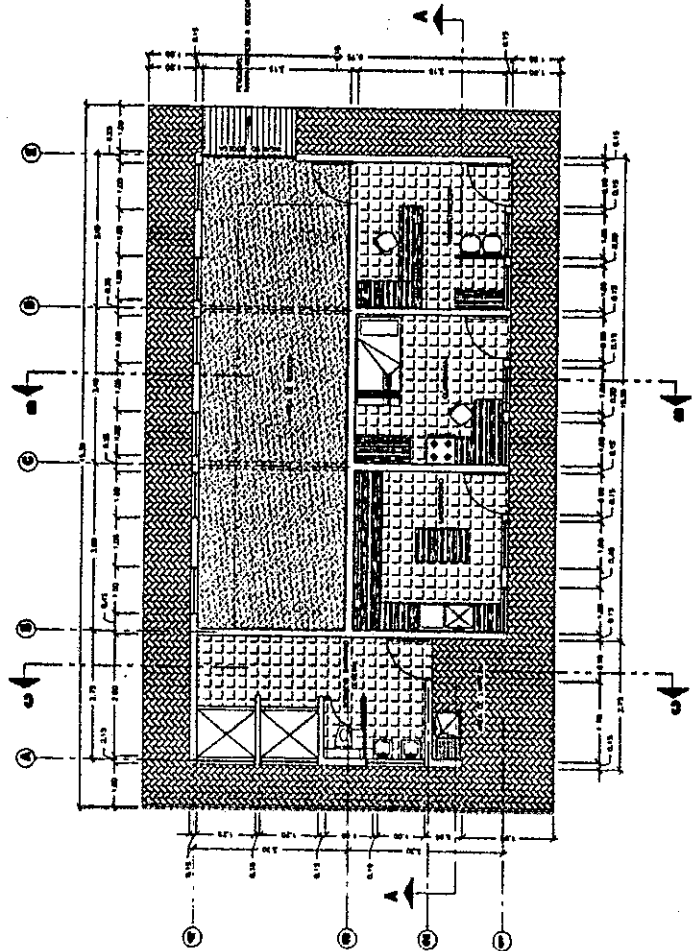
ELEVACION LATERAL COMPLEJO BOGUSA

ESCALA 1:50



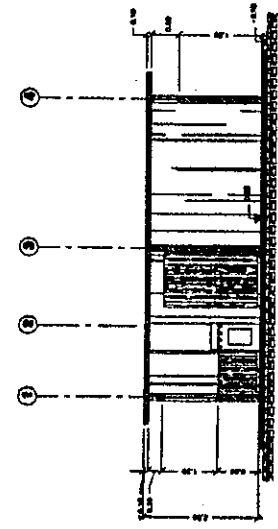
SECCION C-C COMPLEJO BOGUSA

ESCALA 1:50



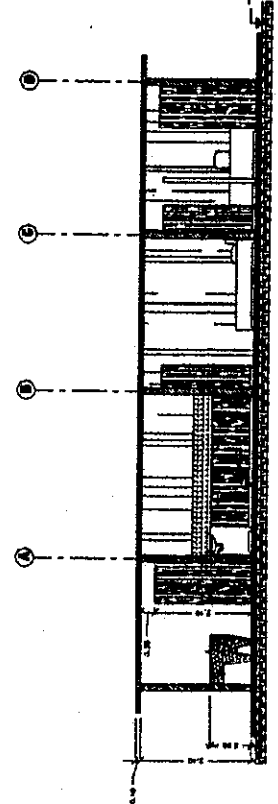
PLANTA COMPLEJO BOGUSA

ESCALA 1:50



SECCION B-B COMPLEJO BOGUSA

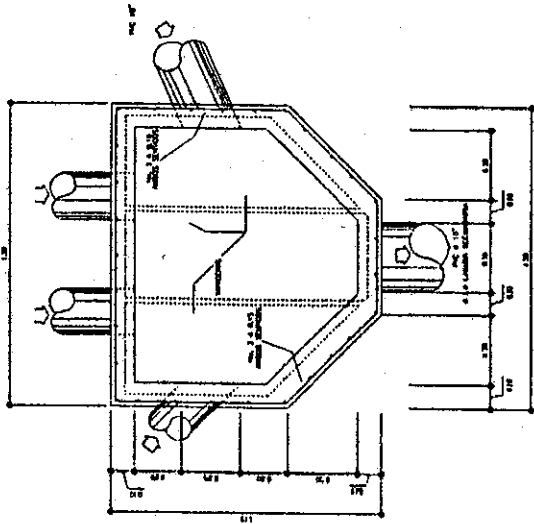
ESCALA 1:50



SECCION A-A COMPLEJO BOGUSA

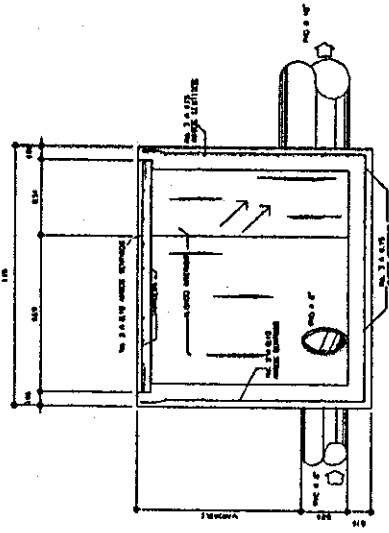
ESCALA 1:50

CARE	OFICINA DE COORDINACION TECNICA Y PROGRAMATICA
	Equipo de Asesoramiento y Asistencia
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CARGO REMANENTE	
PLANTAS Y SECCIONES DE COMPLEJO BOGUSA-ADON- GUANDAMA-JABONERO	Nombre: VALERIA Apellido: GONZALEZ Cargo:
Fecha: _____ Lugar: _____ Proyecto: _____ Hoja: _____ de _____	Fecha: _____ Lugar: _____ Proyecto: _____ Hoja: _____ de _____



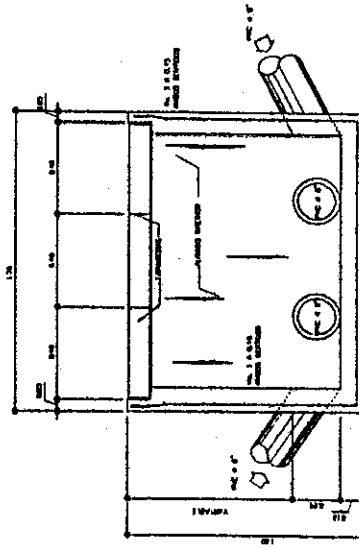
PLANTA

ESC. 1/10



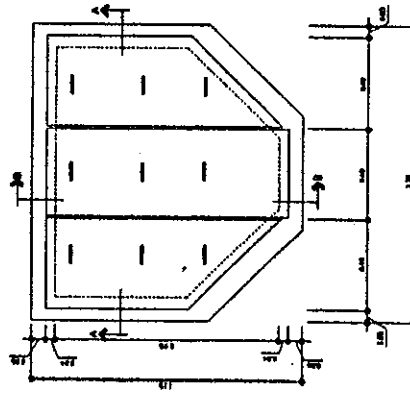
SECCIÓN TRANSVERSAL

ESC. 1/20



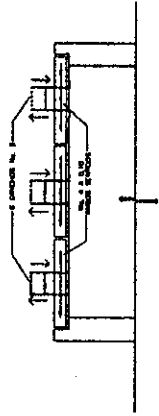
SECCIÓN TRANSVERSAL

ESC. 1/10

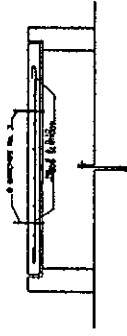


DETALLE DE TAPADERAS

ESC. 1/10



SECCIÓN A-A'

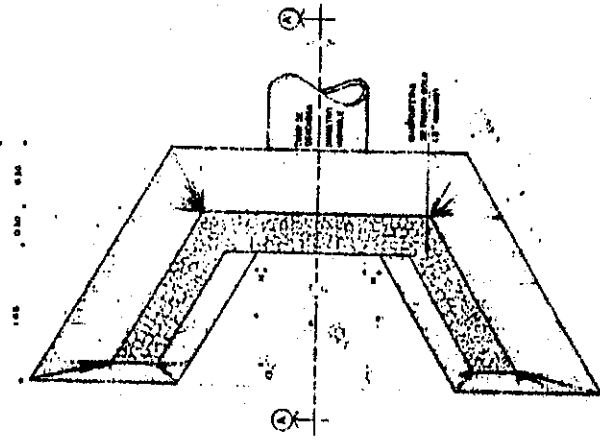


SECCIÓN B-B'

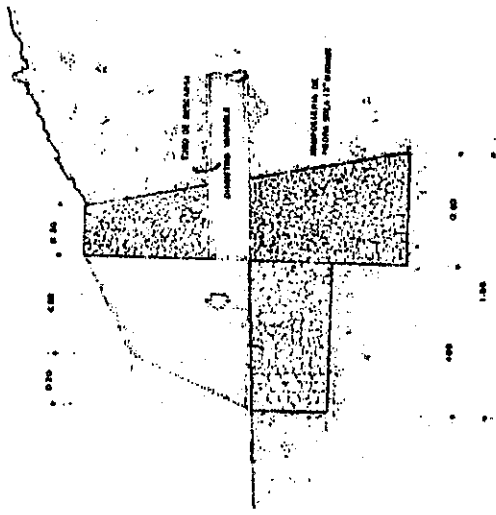
SECCIÓN DE TAPADERAS

SIN ESCALA

CARE OFICINA DE COORDINACIÓN TÉCNICA Y PROGRAMÁTICA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA	 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	CALA UNIFICADA DE CAUDALES	VIALBA GUAYAMA GUAYAMA	 CONICIT INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA	No. 1 / 10



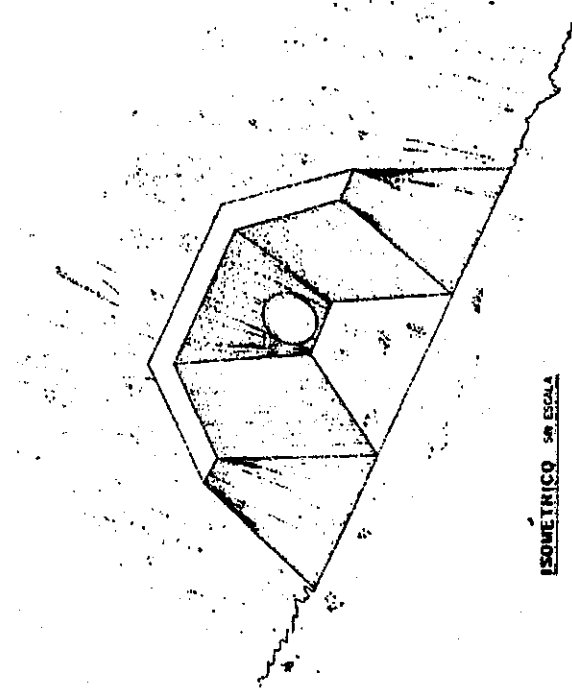
PLANTA - ESC. 1:10



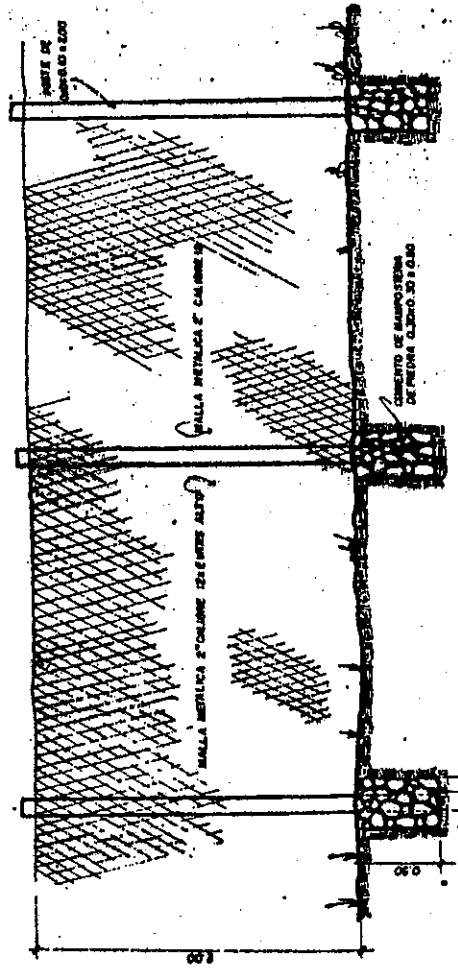
SECCION A-A - ESC. 1:10

NOTAS:
 PARA COLECTORES MENORES DE 300 mm DE DIAMETRO
 CON UN MÁXIMO DE 100 m DE LONGITUD, LA SECCION
 ADOPTAR LA SECCION DE 300 mm DE DIAMETRO
 DE 7° VELA DE 0.17 m.
 PARA COLECTORES MENORES DE 300 mm DE DIAMETRO,
 LA LONGITUD MÁXIMA DE 100 m.
 MANOMETROS DE SECCION A-A
 PARA LOS TUBOS - INTERIORES DE 200 mm
 DIAMETRO DE 1.00 m.
 CUBIERTOS Y ABERTOS DE 300 mm - 1.00 m

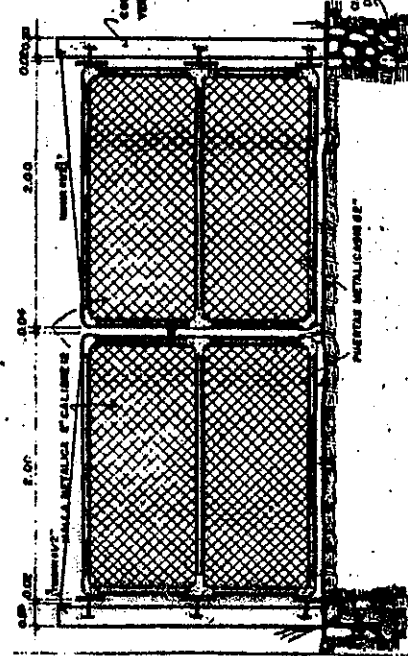
CARE	OFICINA DE COOPERACION TECNICA Y PROGRAMATICA	
	UNIDAD DE EMERGENCIA SANITARIA	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CASCO URBANO		
CABEZAL DE DESCARGA		ESCALA: 1:100
COMUNIDAD: MUNICIPIO: DEPARTAMENTO: REGION:	VILLA NUEVA GUATEMALA	
VICEL JUAN EL JARDIN, S.A. RESPONSABLE DEL PROYECTO		FECHA: / /



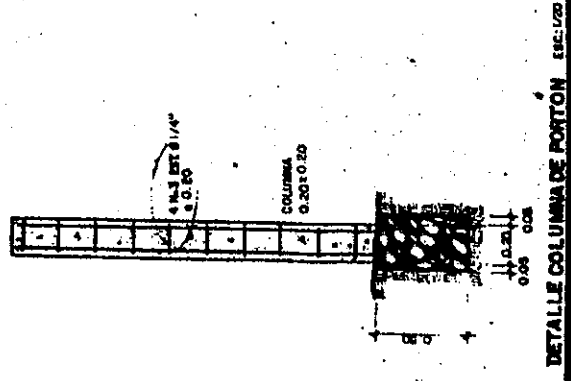
ISOMETRICO - ESC. 1:10



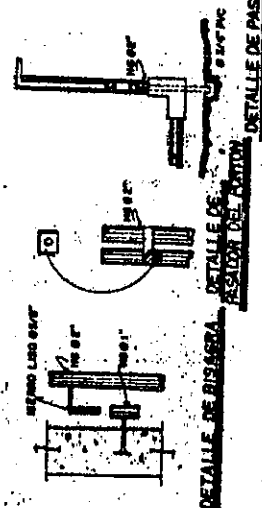
CERCO DEL PREDIO
ESCALA: 1/20



PORTON DEL PREDIO

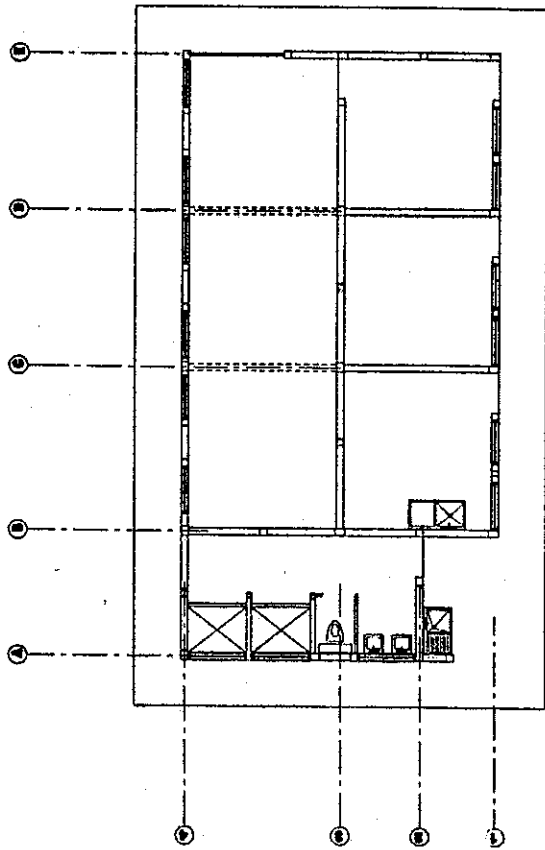


DETALLE COLUMNA DE PORTON ESC: 1/20

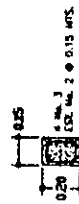


NOTA: DETALLE DEL PORTON SE DESROLLA

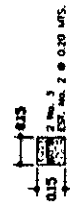
CARE	OFICINA DE COORDINACION TECNICA Y PROGRAMATIVA DIRECCION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CAMPO DEBANDA
DETALLES DE PORTON Y CERCO PERIMETRAL	
PROYECTISTA INGENIERO EN CIENCIAS	VIA BARRA ANTONIA
PROYECTISTA EN CIENCIAS DE INGENIERIA	INGENIERO EN CIENCIAS DE INGENIERIA
PROYECTISTA EN CIENCIAS DE INGENIERIA	INGENIERO EN CIENCIAS DE INGENIERIA



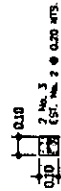
PLANTA DE CIMENTACIÓN ESC. 1/50



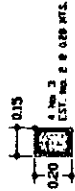
DETALLE DE COLUMNA "A" ESC. 1/25



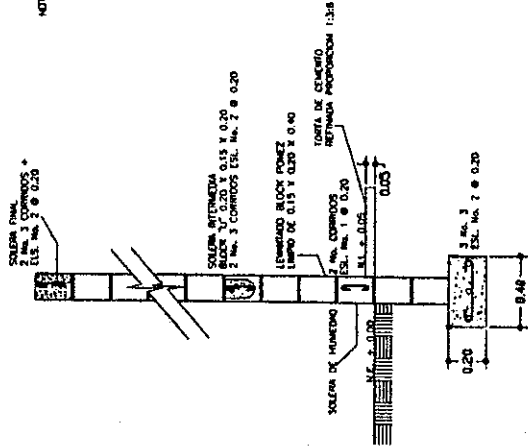
DETALLE DE COLUMNA "B" ESC. 1/25



DETALLE DE COLUMNA "C" ESC. 1/25



DETALLE DE VIGA ESC. 1/25

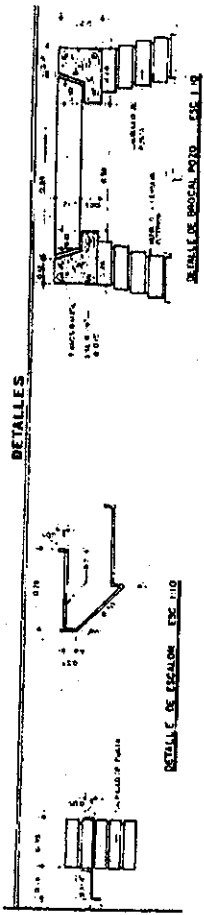
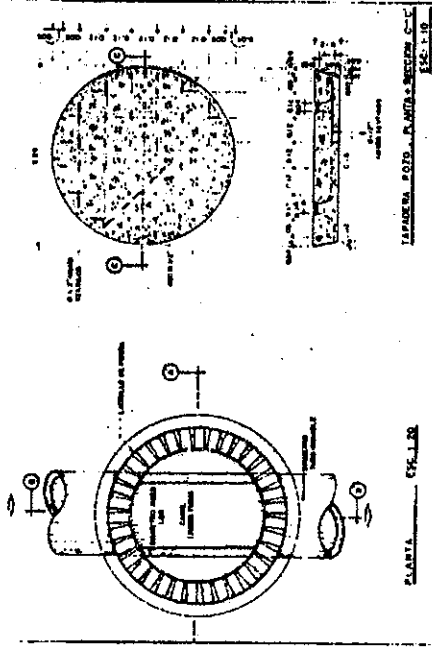
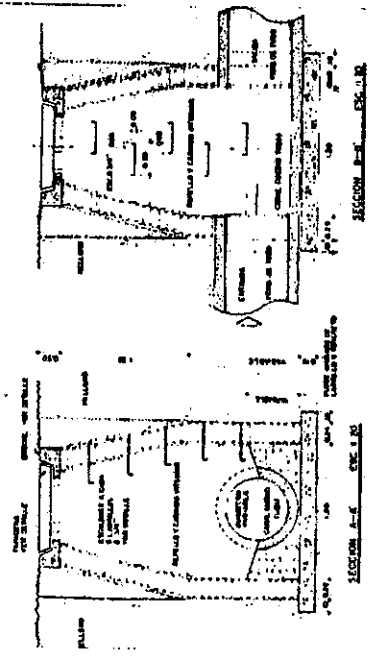


MURO Y COLUMNAS ESC. 1/20

NOTA:
LA LOSA TIENE 0.15 MTS DE ESPESOR
Y EL ARMADO SE HA HECHO No. 3 @ 0.15
EN AMBOS SENTIDOS.

CARE	OFICINA DE COORDINACION TECNICA Y PROGRAMATICA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA MATEMÁTICA		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10		
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES													
PLANO DE CIMENTACIONES, DETALLES DE COLUMNAS Y VIGAS		VIA ALBA GUAYAMA		No. 11		No. 12		No. 13		No. 14		No. 15		
NOTA: SE HA HECHO EN MAYUSCULAS													No. 16	

POZO DE VISITA TÍPICO



ESPECIFICACIONES

LAS TAPAS DE LOS POZOS DE VISITA DEBERÁN IDENTIFICARSE CON LA NOMENCLATURA DEL PLANO DE RED GENERAL.

EL CONCRETO DEBERÁ TENER UN $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ PROPORCIÓN 1:2:3.5

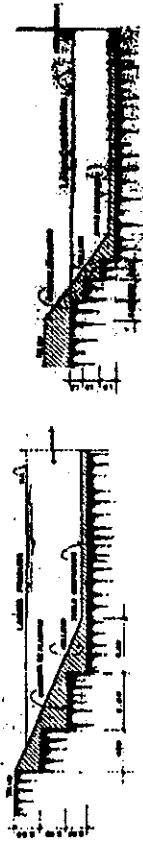
EL MORTERO DEBERÁ SER DE CEMENTO Y ARENA DE RIO CON PROPORCIÓN 1:3

LOS BROSALES Y LAS TAPAS DE LOS POZOS DEBERÁN CUMPLIR SEGUN ESPECIFICACIONES A.C.T. ANTES DE SU INSTALACION.

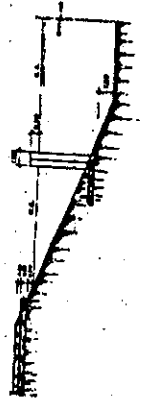
EL ACERO A UTILIZAR SERA DE $F_y = 2,810 \text{ kg/cm}^2$

LA TUBERIA DE CADA UN POZO PARA COLECTORES HASTA DE 24" SERA DE 8". PARA COLECTORES MAYORES DE 24" SERA DE 12".

CARE	OFICINA DE COOPERACION TECNICA Y PROGRAMATICA
	UNIDAD DE INGENIERERIA SANITARIA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CASCO URBANO	
FOZOS Y CAJAS DE VISITA TÍPICOS	
COMUNIDAD:	VELA NUEVA
MUNICIPIO:	GUATEMALA
DEPARTAMENTO:	
REGIÓN:	
PROYECTO:	
FECHA:	



IMPERMEABILIZACIÓN



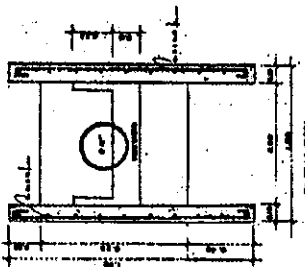
ENTRADA Y DRENAJE



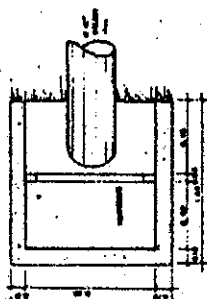
DISPOSITIVO DE ENTRADA



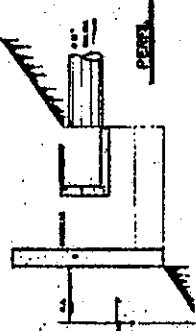
IMPERMEABILIZACIÓN



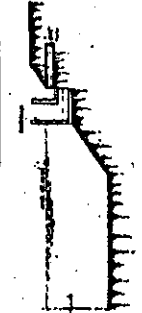
ELEVACION



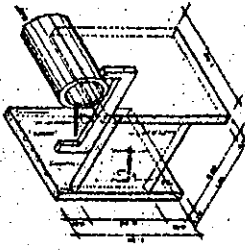
PLANTA



PERFIL

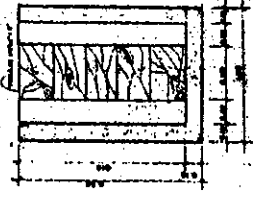


DISPOSITIVO DE SALIDA



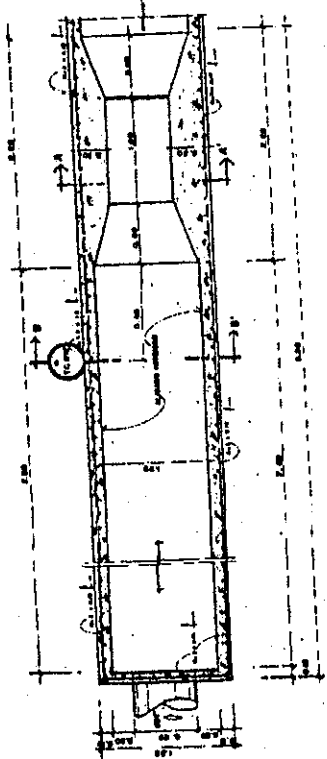
SECCION DE DISPOSITIVO DE SENA

DETALLE DE DRENAJE

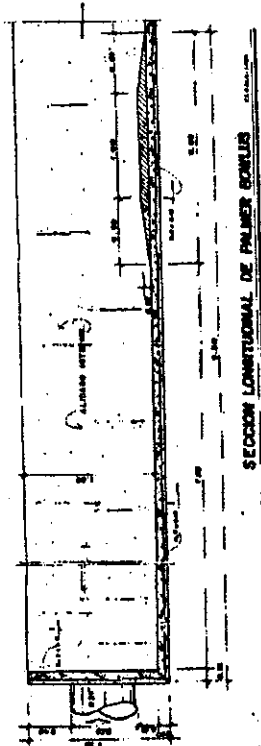


DETALLE DE DRENAJE

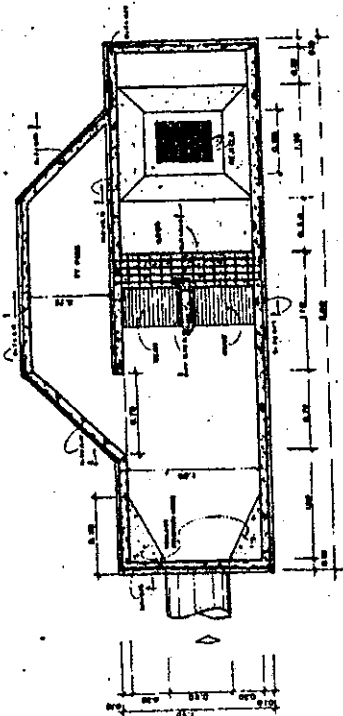
CARE	OFICINA DE CONTRATACION TECNICA Y PROGRAMATA Unidad de Incentivos Productivos
	PLANTA DE TRAZAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CARGO TUBARIO
DETALLES DE DISPOSITIVOS IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE	
COMUNICACION AUTORIDAD PROYECTISTA EJECUTOR	VILLA MERCA CERREJANA
FECHA DE EMISION DEL PROYECTO EN PLANO	



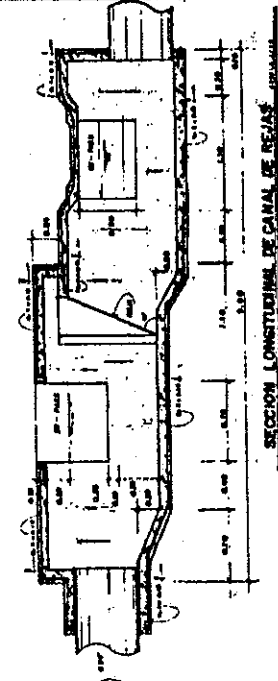
PLANTA DE PALMIER BOWLIU



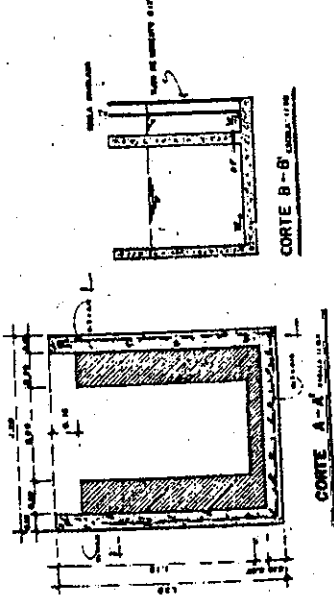
SECCION LONGITUDINAL DE PALMIER BOWLIU



PLANTA DE CANAL DE REJAS

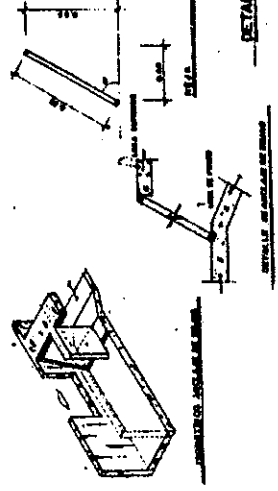


SECCION LONGITUDINAL DE CANAL DE REJAS



CORTE A-A

CORTE B-B



DETALLE DE ANCHO DE REJA

CARE	OFICINA DE COORDINACION TECNICA Y PROGRAMATICA	
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CANCUN TURISMO	
	PLANTA Y DETALLES CANAL DE REJAS Y PALMIER BOWLIU	
	VIA AEREA GUAYABANA QUINTANA ROO	
	NOVA S.P.A. 1978-1980 CONTRATO DE OBRAS	