

872715

2



**ESTUDIOS REALIZADOS EN LA UNIVERSIDAD  
DON VASCO, A.C.  
INCORPORACION No. 8727-15 A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**Planta de tratamiento de  
aguas residuales para la  
ciudad de Nueva Italia, Mich.**

**PRESENTA:**

**Efraín Ballesteros Solorio**

**ASESOR:**

**Anastacio Blanco Simiano**



**URUAPAN, MICHOACAN, JULIO DEL 2002.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

Deseo dedicar el presente trabajo a mi madre Maria de los Angeles Solorio Cisneros y a mi padre Francisco Ballesteros Navarro por el apoyo incondicional, esfuerzo y dedicación que me han brindado desde el inicio hasta el final de mi preparación y formación como profesionista, a ellos, gracias.

Envío a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Ballesteros Solorio

Fraín

FECHA: 30-08-02

FIRMA: [Firma]

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## AGRADECIMIENTOS

*A mis hermanas: Elizabeth, Maria de los Angeles y Josefina por brindarme su apoyo y confianza en todo momento.*

*A todos mis amigos*

*A todos mis maestros*

*A mi abuelo Eliseo por mostrarme la tenacidad con la que hay que enfrentar a la vida.*

*A mi asesor el ingeniero civil Anastacio Blanco Simiano por su colaboración y el apoyo brindado para la elaboración del presente trabajo.*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## INDICE

	PAG.
<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO</b>	
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	4
<b>CAPITULO 1 AGUAS NEGRAS.....</b>	<b>5</b>
1.2 DEFINICIONES.....	9
1.2.1 Transporte de las aguas residuales.....	9
1.2.2 Aguas negras domésticas.....	11
1.3 ASPECTO DE LAS AGUAS NEGRAS.....	11
1.4 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS.....	12
1.5 LOS SÓLIDOS EN LAS AGUAS NEGRAS.....	13
1.6 DEFINICIONES DE LOS SÓLIDOS EN LAS AGUAS NEGRAS.....	13
1.7 GASES DISUELTOS.....	19
1.8 COMPOSICIÓN BIOLÓGICA DE LAS AGUAS NEGRAS.....	19
1.9 ESTADO DE LAS AGUAS NEGRAS.....	23
1.10 CAMBIOS QUÍMICOS EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS.....	24
<b>CAPITULO 2 DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS.....</b>	<b>26</b>
2.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS.....	26
2.2 DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS.....	26
2.3 FUNCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN LAS AGUAS RECEPTORAS.....	29
2.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).....	30
2.5 AUTOPURIFICACIÓN DE UNA CORRIENTE.....	30
2.6 NECESIDAD DE TRATAR AGUAS NEGRAS.....	32
2.7 ORDENAMIENTOS LEGALES.....	34

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2.8 IMPACTO AMBIENTAL.....	37
<b>CAPITULO 3 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS.....</b>	<b>39</b>
3.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	39
3.1.1 Rejas y cribas de barras.....	40
3.1.2 Desmenzadores.....	46
3.1.3 Desarenadores.....	46
3.1.4 Tanques de preaeración.....	52
3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO.....	52
3.2.1 Tanques sépticos.....	53
3.2.2 Tanques de dobles acción o tanques tipo Imhoff.....	53
3.2.3 Tanques de sedimentación simple.....	53
3.2.4 Tratamiento químico.....	54
3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	54
3.3.1 Filtros goteadores o rociadores.....	55
3.3.2 Tanques para la sedimentación secundaria.....	55
3.3.3 Lodos activados.....	56
3.3.4 Operación del proceso de lodos activados.....	56
3.3.5 Aereación por contacto.....	57
3.3.6 Filtros de arena intermitente.....	57
3.3.7 Lagunas de estabilización.....	57
3.3.7.1 Clasificación.....	61
3.3.7.2 Lagunas aerobias.....	62
3.3.7.3 Lagunas anaerobias.....	63
3.3.7.4 Lagunas facultativas.....	63
3.3.7.5 Lagunas de maduración.....	64
3.3.7.6 Ventajas y desventajas.....	64
3.3.7.7 Factores constructivos, de operación y manteni- miento de las lagunas de estabilización.....	66
3.3.7.7.1 Identificación del tipo de construcción.....	67
3.3.7.7.2 Impermeabilización del sitio de construcción.....	67
3.3.7.7.3 Revestimientos con suelos compactados.....	69

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

3.3.7.7.4 Suelos locales mejorados con estabilizantes químicos o con la adición de suelos importados.....	70
3.3.7.7.5 Revestimientos sintéticos.....	72
3.3.7.7.6 Forma y número de las lagunas.....	73
3.3.7.7.7 Diseño de bordos.....	73
3.3.7.7.8 Selección del material del bordo.....	74
3.3.7.7.9 Ancho de la corona.....	75
3.3.7.7.10 Bordo libre.....	75
3.3.7.7.11 Estabilidad de taludes.....	75
3.3.7.7.12 Cimentación.....	76
3.3.7.7.13 Filtros y drenes.....	76
3.3.7.7.14 Protección contra oleaje y erosión.....	77
3.3.7.7.15 Geometría de los bordos.....	78
3.3.7.7.16 Arranque del sistema de lagunas anaerobias.....	78
3.3.7.7.17 Arranque del sistema de lagunas facultativas.....	79
3.3.7.7.18 Arranque del proceso de lagunas de maduración.....	79
3.3.7.7.19 Indicadores de operación cualitativos: Color, Transparencia, olor y observaciones micros- cópicas.....	80
3.3.7.7.20 Indicadores de operación cuantitativos de la toma de muestra.....	83
3.3.7.7.21 Frecuencia de monitoreo del influente.....	85
3.3.7.7.22 Frecuencia de monitoreo del efluente.....	85
3.3.7.7.23 Frecuencia de monitoreo del cuerpo de la laguna.....	85
3.3.7.7.24 evaluación de la eficiencia.....	86
3.3.7.7.25 Factores del proceso: Gasto de entrada y nutrientes.....	87
3.4 CLORACIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS.....	87
3.4.1 Reacciones del cloro con las aguas negras.....	88
3.4.2 Propósitos para la cloración.....	89
3.5 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS LODOS.....	90
3.5.1 Tratamiento de los lodos.....	90
3.5.2 Métodos de tratamiento de los lodos.....	91

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3.5.3 Disposición de los lodos.....	93
<b>CAPITULO 4 ANTECEDENTES.....</b>	<b>96</b>
4.1 RECOPIACIÓN, ANÁLISIS, ACTUALIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.....	96
4.1.1 Marco físico.....	96
4.2 RECURSOS NATURALES.....	98
4.2.1 Recursos hidráulicos existentes.....	98
4.2.2 Suelo.....	99
4.3 CLIMA.....	99
4.4 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.....	100
4.4.1 Población.....	101
4.4.2 Dinámica del crecimiento urbano-industrial y agrícola.....	101
4.5 TRABAJOS PRELIMINARES DE CAMPO.....	103
4.5.1 Localización y descripción de fuentes de contaminación y cuerpos receptores.....	103
4.5.2 Delimitación del área de estudio.....	108
4.6 APROVECHAMIENTO ACTUAL Y POTENCIAL DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	109
4.6.1 Aprovechamiento actual.....	109
4.6.2 Aprovechamiento potencial.....	110
4.7 PROPUESTA.....	111
<b>CAPITULO 5 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA POBLACIÓN DE NUEVA ITALIA MICHOACÁN.....</b>	<b>112</b>
5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	112
5.2 INFORMACIÓN REQUERIDA.....	112
5.2.1 Datos de diseño.....	112
5.2.1.1 Número de habitantes.....	112
5.2.1.2 Cálculo del agua por tratar.....	114

5.2.1.3 Calidad del agua.....	115
5.2.2 Restricciones al diseño.....	116
5.2.2.1 Factibilidad técnica.....	116
5.2.2.2 Localización.....	117
5.2.2.3 Esquema de construcción.....	117
5.2.2.4 Legislación.....	119
5.3 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	121
5.3.1 Dimensionamiento del sistema de pretratamiento.....	121
5.3.1.1 Canal de entrada y rejillas.....	121
5.3.1.2 Desarenador.....	123
5.3.1.3 Vertedor proporcional.....	127
5.3.2 Datos físicos para el diseño de las lagunas.....	129
5.4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO EMPLEANDO EL MÉTODO DE YAÑEZ.....	130
5.4.1 Remoción de huevos de helmintos.....	139
CONCLUSIONES.....	147
BIBLIOGRAFÍA.....	148

## INDICE DE FIGURAS

N°	PAG.	
1.1	Condición física y composición de los sólidos contenidos en un agua negras doméstica media.....	18
3.1	Rejillas de barra de limpieza mecánica.....	42
3.2	Sistema de rejillas de limpieza manual.....	43
3.3	Cámara desarenadora.....	47
3.4	Instalación típica de doble cámara desarenadora.....	48
3.5	Vertedor proporcional.....	51
3.6	Detalle de bordo.....	74
3.7	Plano y sección de un lecho típico de secado de lodos.....	94
4.0	Plano cartográfico de Nueva Italia Michoacán.....	105
4.1	Canal contaminado a cielo abierto.....	106
4.2	Canal con descargas de drenajes.....	106
4.3	Cuerpo receptor de los canales contaminados.....	107
4.4	Aguas contaminadas destinadas al riego agrícola.....	107
5.1	Plano topográfico de Nueva Italia Michoacán.....	118
5.2	Dimensiones de la cámara desarenadora (corte).....	126
5.3	Dimensiones de la cámara desarenadora (planta).....	127
5.4	Dimensiones del vertedor proporcional.....	129
5.5	Plano general de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	142
5.6	Características del influente en las lagunas.....	143
5.7	Características del vertedor triangular.....	144
5.8	Caja de enlace tipo (alzado).....	145
5.9	Caja de enlace tipo (planta).....	146

## INDICE DE TABLAS

N°	PAG.
1.1	7
2.1	36
3.1	41
3.2	42
3.3	44
3.4	46
3.5	50
3.6	84
5.1	113
5.2	114
5.3	115
5.4	119
5.5	120
5.6	129
5.7	135
5.8	140

## INTRODUCCIÓN

El creciente aumento de la población en los centros urbanos y la industrialización acelerada de los mismos, han traído grandes problemas para la ecología del medio ambiente. Desde hace varias décadas han aparecido la contaminación del aire y del agua, y no es difícil adivinar que de no ponerse remedio a estos grandes males del siglo XX, dentro de no muchos años habremos cambiado lo que a la naturaleza le tomó milenios construir. La contaminación del agua por la humanidad se ha visto acentuada a medida que ésta la ha utilizado para procesos industriales, y como vehículo para eliminar los desechos y desperdicios de la actividad de los mismos. Consecuentemente el agua que usamos, la devolvemos al ambiente natural en un estado completamente diferente del que se encontraba antes de haberla utilizado. Este cambio en las propiedades del agua afecta además de los mismos hombres, a infinidad de formas de vida inferiores que dependen directamente de ésta agua para su supervivencia.

Uno de los factores indispensables para tener una adecuada protección de las fuentes de suministro de agua es contar con tecnologías que provean un tratamiento efectivo y adecuado al agua residual. Para generalizar ésta práctica es necesario contar con los recursos económicos y humanos necesarios que, para

la realidad de nuestro país, se traduce en implantar sistemas eficientes, poco mecanizados y de bajo costo de inversión y de operación.

En éste contexto, las pequeñas comunidades e industrias aisladas que generan residuos líquidos biodegradables pueden considerar a las lagunas de estabilización como una opción de tratamiento. De igual forma, ciudades importantes localizadas en climas cálidos con disponibilidad de terreno barato y con las características compatibles para éste tipo de sistemas pueden encontrar en ellas una opción viable.

Es difícil precisar cuándo y/o dónde las lagunas naturales o artificiales pasaron a recibir desechos de la actividad humana. Sin embargo, existen registros que la contaminación de las aguas sucedió de un modo significativo con la aparición de sistemas de conducción de desechos que ya existían en ciudades como la antigua Babilonia en el siglo VI a C. Y ya eran muy empleados en el Imperio Romano. Existen noticias de que en Asia y en Europa fue utilizado éste método principalmente por motivos económicos. El primer tanque de estabilización artificial que se construyó fue en 1901, en San Antonio, Texas, se construyó un embalse de 275 hectáreas de superficie, y una profundidad media de 1.4 metros aproximadamente. Para 1975 se encontraban operando 7,000 lagunas en los

Estados Unidos y 868 en Canadá durante 1981. En México hasta 1996 se tenían contabilizadas aproximadamente 357 plantas de éste tipo.

En general, las lagunas son depósitos contruidos mediante la excavación y compactación de la tierra, que almacenan agua de cualquier calidad por un periodo determinado. Las lagunas constituyen un tratamiento alterno interesante ya que permiten un manejo sencillo del agua residual, la recirculación de nutrientes y la producción primaria de alimento en la cadena alimenticia.

Las lagunas de estabilización, que son un método de tratamiento aplicable tanto en agua residual doméstica como industrial, siempre y cuando sea biodegradable. En especial, las lagunas son útiles en comunidades rurales con disponibilidad de terreno con bajo costo de construcción.

## **OBJETIVO:**

El objetivo principal de ésta obra es el de establecer un sistema de tratamiento por medio de lagunas de estabilización para las aguas residuales generadas en la población de Nueva Italia Michoacán, que provea un método efectivo y adecuado al agua residual, de tal forma que se obtenga un efluente que reúna los siguientes parámetros:

- Reducción de la materia orgánica
- Minimizar la descarga de organismos patógenos e indicadores.
- Remoción de nutrientes
- Reuso del efluente tratado.

## CAPITULO 1

### AGUAS NEGRAS

#### 1.1 ORIGEN DE LAS AGUAS NEGRAS Y DE LOS DESECHOS

Agua negra son fundamentalmente las agua de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usoa. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casa habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con las casa habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, y las agua subterráneas, superficiales o de precipitación que puedan agregarse. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:15)

Las agua negra pueden ser originadas por:

- a).- Desechos humano y animala
- b).- Desperdicio doméstico o casero
- c).- Corrienta pluviala
- d).- Infiltraciona de agua subterránea
- e).- Desecho industriala

a).- Desecho humano y animala. - Son la exoneraciona corporala que llegan a formar parte de la agua negra, mediante los sistema hidráulico de

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

los retretes y en cierto grado de los procedentes de los animales que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles.

b).- **Desperdicios domésticos o caseros.**- Proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baños, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de los alimentos y lavado de la loza.

c).- **Corrientes pluviales** .- El volumen de las corrientes pluviales varían según la intensidad de la precipitación, la topografía, las superficies pavimentadas y techadas.

d).- **Infiltraciones de aguas subterráneas** .- Existe la posibilidad de que si el nivel freatico, se encuentra arriba de la tubería de alcantarillado pueda penetrar a través de las puntas.

e).- **Desechos industriales.**- Estos desechos varían por su tipo y volumen pues dependen del tipo de fábricas existentes en la región. En algunos casos es tal el volumen y características de los desechos industriales que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK. 1980:16)

Los residuos líquidos domésticos provienen de las viviendas, oficinas y negociaciones. No incluyen aguas residuales industriales y arriba del 99.9% del residuo es agua. Del pequeño porcentaje de sólidos, aproximadamente 40 a 70 %

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

son de tipo orgánico. A los sólidos orgánicos se deben los olores ofensivos y son causa, además de las mayores dificultades para la disposición de los desechos. La tabla 1.1 presenta un análisis promedio de las aguas residuales domésticas normales.

**TABLA 1.1 ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN
Sólidos totales (mg/l)	1370
Sólidos totales volátiles (mg/l)	600
Sólidos suspendidos (mg/l)	260
Sólidos sedimentables (ml/l)	7
Demanda Bioquímica de oxígeno(mg/l)	274
Grasas y aceites (mg/l)	60
PH (Unidades)	7.2
Coliformes (Número más probable)	$16 \cdot 10^8$

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 13

Las características reales varían dependiendo de si el desecho es "débil" (más diluido) o "fuerte" (más concentrado). Las causas de estas variaciones se deben a las características inherentes a la comunidad, así como a fenómenos adicionales tales como infiltración de aguas subterráneas y adición de aguas pluviales. Si se tiene conocimiento de contribución industrial, se deben hacer análisis actuales del agua residual que va a ser tratada para determinar si está presente alguna característica que requiera un tratamiento especial.

La concentración de sólidos suspendidos, particularmente los sólidos suspendidos sedimentables, determinan el grado de tratamiento necesario y los requerimientos para manejar los sólidos de la planta.

Una buena aproximación de la cantidad de sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales es suponer 70 gramos por persona y por día.

Los valores de PH indican si hay necesidad de un ajuste químico para neutralizar ya sea una excesiva alcalinidad, o bien, acidez. A menos que se descarguen aguas industriales residuales o algún desecho poco usual en los sistemas de drenaje municipales, no hay necesidad de hacer ajustes en el PH. El contenido de grasas y aceites determina la necesidad de contar con desnatadores y dispositivos para el manejo y disposición de las grasas.

Además de las características ya discutidas, el diseñador de una planta de tratamiento municipal tendrá que enterarse de las condiciones del sistema de drenaje. Deberá determinar o estimar que cantidad y tipo de desechos pueden arrastrar las aguas residuales. Para proveer lo necesario a fin de evitar su ingreso a las unidades de la planta (ejemplo: ramas, botellas, basuras, etc.) También deberán estimarse las cantidades de arena y hacer el diseño adecuado de los dispositivos para su remoción. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F:

12)

## **1.2 DEFINICIONES**

Las aguas negras son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, edificios, comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que puedan agregarse.

### **1.2.1 Transporte de las aguas residuales**

Las aguas residuales son transportadas desde su punto de origen hasta las instalaciones depuradoras a través de tuberías, generalmente clasificadas según el tipo de agua residual que circule por ellas. Los sistemas que transportan tanto agua de lluvia como aguas residuales domésticas se llaman combinados. Generalmente funcionan en las zonas viejas de las áreas urbanas. Al ir creciendo las ciudades e imponerse el tratamiento de las aguas residuales, las de origen doméstico fueron separadas de las de los desagües de lluvia por medio de una red separada de tuberías. Esto resulta más eficaz porque excluye el gran volumen de líquido que representa el agua de escorrentía. Permite mayor flexibilidad en el trabajo de la planta depuradora y evita la contaminación originada por escape o

desbordamiento que se produce cuando el conducto no es lo bastante grande para transportar el flujo combinado. Para reducir costos, algunas ciudades, han hallado otra solución al problema del desbordamiento: en lugar de construir una red separada, se han construido, sobre todo bajo tierra, grandes depósitos para almacenar el exceso de flujo, después se bombea el agua al sistema cuando deja de estar saturado.

Las instalaciones domésticas suelen conectarse mediante tuberías de arcilla, hierro fundido o PVC de entre 8 y 10 cm de diámetro. El tendido de alcantarillado, con tuberías maestras de mayor diámetro, puede estar situado a lo largo de la calle a unos 1,8 m o más de profundidad. Los tubos más pequeños suelen ser de arcilla, hormigón o cemento, y los mayores, de cemento reforzado con o sin revestimiento. A diferencia de lo que ocurre en el tendido de suministro de agua, las aguas residuales circulan por el alcantarillado más por efecto de la gravedad que por el de la presión. Es necesario que la tubería esté inclinada para permitir un flujo de una velocidad de al menos 0,46 m por segundo, ya que a velocidades más bajas la materia sólida tiende a depositarse. Los desagües principales para el agua de lluvia son similares a los del alcantarillado, salvo que su diámetro es mucho mayor. En algunos casos, como en el de los sifones y las tuberías de las estaciones de bombeo, el agua circula a presión.

Las canalizaciones urbanas acostumbran a desaguar en interceptadores, que pueden unirse para formar una línea de enlace que termina en la planta depuradora de aguas residuales. Los interceptadores y los tendidos de enlace, contruidos por lo general de ladrillo o cemento reforzado, miden en ocasiones hasta 6 m de anchura.

### **1.2.2 Aguas negras domésticas**

Son las que contienen desechos humanos, animales y caseros. También se incluye la infiltración de aguas subterráneas. Estas aguas negras son típicas de las zonas residenciales en las que no se efectúan operaciones industriales, o sólo en muy corta escala.

**Aguas negras sanitarias.** - Son las mismas que las domésticas, pero que incluyen no solamente las aguas negras domésticas, si no también gran parte, si no es que todos los desechos industriales de la población. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:17)

### **1.3 ASPECTO DE LAS AGUAS NEGRAS**

Las aguas negras son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tienen un olor a moho no desagradable . Flotan en ellas cantidades variables de materia: sustancias

fecales, trozos de alimentos, basura , papel, astillas y otros residuos de las actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Con el transcurso del tiempo, el color cambia gradualmente del gris al negro, desarrollándose un olor ofensivo y desagradable; y sólidos negros aparecen flotando en la superficie o en todo el líquido. En éste estado se denominan aguas negras sépticas. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK. 1980:17)

#### 1.4 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS

Como ya se ha especificado anteriormente las aguas negras son las aguas de desecho originadas por la actividad vital de una población. En su composición figuran sólidos orgánicos disueltos y suspendidos los cuales son putrescibles y por lo tanto sujetos a degradación. Las aguas negras contienen también un número incalculable de organismos vivos, como bacterias y otros microorganismos, cuyas actividades vitales son las que causan el proceso de descomposición. Cuando la degradación se lleva a cabo en condiciones anaerobias, es decir, en ausencia de oxígeno disuelto en las aguas negras resultan, condiciones ofensivas que originan olores y apariencias desagradables. Cuando la degradación ocurre en condiciones aerobias, es decir, en presencia de oxígeno disuelto, no da esos resultados y el proceso marcha con gran celeridad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las aguas negras son líquidos turbios que contienen material sólidos disueltos en ella y de los sólidos suspendidos en la misma. La cantidad de sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0.1 por ciento en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:17)

Es muy importante la promoción de la limpieza y eliminación de las inmundicias y desechos hasta un área alejada del centro de actividad. Solo con esas practicas puede mantenerse el medio ambiente en condiciones aceptables e inocuas.

## **1.5 LOS SÓLIDOS EN LAS AGUAS NEGRAS**

Los sólidos en las aguas negras pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física . Tenemos así, sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos y disueltos.

## **1.6 DEFINICIONES DE LOS SÓLIDOS EN LAS AGUAS NEGRAS**

**Sólidos orgánicos.** - En general son de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia anormal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden incluirse compuestos orgánicos

sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno, y oxígeno, pudiendo estar combinadas algunos con nitrógeno, azufre o fósforo.

Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, junto con sus productos de descomposición. Están sujetos a degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos; además son combustibles, es decir, pueden ser quemados.

**Sólidos inorgánicos.**- Son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Ciertos compuestos minerales hacen excepción a estas características, como los sulfatos, los cuales pueden descomponerse en sustancias más simples, como sucede en la reducción de los sulfatos a sulfuros.

A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: Arena, grava, cieno y sales minerales del abastecimiento de agua que producen su dureza y contenido mineral. Por lo general, no son combustibles.

La cantidad de sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, en las aguas negras, les dan lo que frecuentemente se conoce como su fuerza. En realidad, la cantidad o concentración de sólidos orgánicos, así como su capacidad para degradarse o descomponerse, son la parte principal de la fuerza de una agua negra. A mayor concentración de sólidos orgánicos corresponde mayor fuerza de las aguas negras. Por lo tanto se puede definir que las aguas negras fuertes son las que

contienen gran cantidad de sólidos, especialmente de sólidos orgánicos y las aguas negras débiles las que contienen pequeñas cantidades de sólidos orgánicos.

Como ya se ha hecho notar, los sólidos pueden clasificarse o agruparse de acuerdo con su condición física, como sólidos suspendidos, sólidos coloidales y sólidos disueltos, incluyendo en cada uno de estos grupos tanto a sólidos orgánicos como inorgánicos.

**Sólidos Suspendidos.**- Son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua son los sólidos que pueden separarse del agua por medios físicos o mecánicos, como son la sedimentación y la filtración.

Incluyen las partículas flotantes mayores que consisten en; arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, astillas de madera, partículas de alimento y de basura y otros materiales similares. Están constituidos aproximadamente por un 70 % de sólidos orgánicos y por un 30 % de sólidos inorgánicos, siendo la mayor parte de estos últimos arena y polvos.

Los sólidos suspendidos se dividen en dos partes: Sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

**Sólidos sedimentables.**- Son la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un periodo determinado, que generalmente es de una hora.

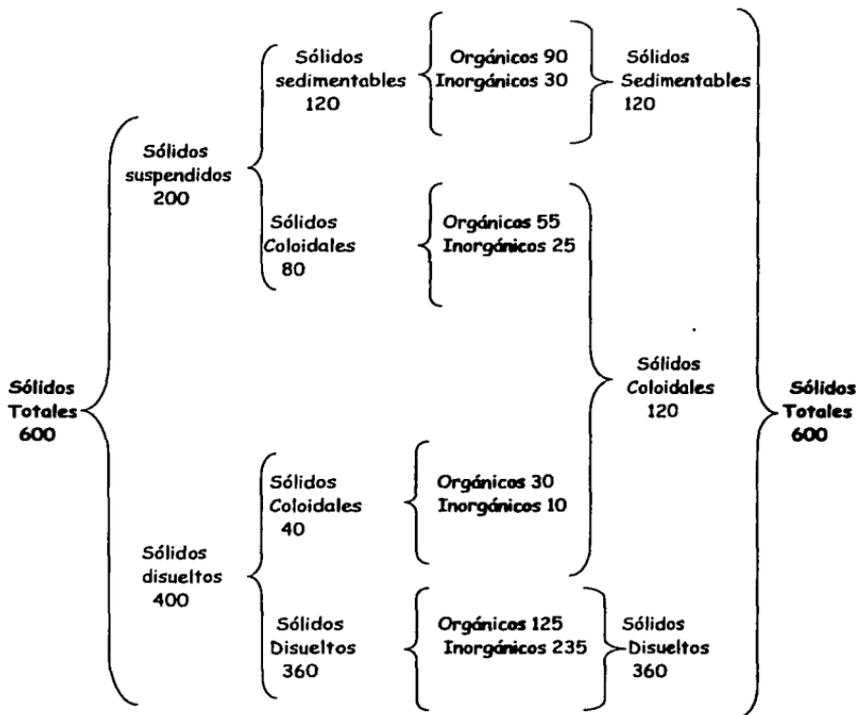
**Sólidos coloidales suspendidos.** - Se definen algo indirectamente como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. En la actualidad no existe una prueba sencilla o normal de laboratorio que sirva específicamente para determinar la materia coloidal. Constituyen la fracción de los sólidos suspendidos totales (cerca del 40%) que no pueden eliminarse fácilmente recurriendo a tratamientos físicos o mecánicos, pero que no pasan por la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. Su composición es orgánica en unas dos terceras partes, e inorgánicas en el resto; están sujetas a una rápida degradación y son un factor importante en el tratamiento y disposición de las aguas negras.

**Sólidos disueltos.** - El término " Sólidos disueltos", utilizado ordinariamente en el estudio de las aguas negras, no es técnicamente correcto. No todos estos sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. De acuerdo con la costumbre, el término incluye todos los sólidos que pasan a través de la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. De los sólidos disueltos totales, aproximadamente un 90% está verdaderamente disuelto y un 10% en estado coloidal. El total de sólidos disueltos ésta compuesto aproximadamente por el 40% de orgánicos y el 60% de inorgánicos. La porción coloidal contiene mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente

disuelta, debido a que ésta incluye a todas las sales minerales del agua del abastecimiento.

**Sólidos totales.**- Como lo indica el mismo termino, bajo éste nombre se distinguen todos los constituyentes sólidos de las aguas negras. Son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de sólidos suspendidos y disueltos. En las aguas negras domesticas de composición media, cerca de la mitad son orgánicos y la otra mitad inorgánicos y aproximadamente unas dos terceras partes están en solución y una tercera parte en suspensión. Es esa mitad orgánica de los sólidos sujeta a degradación la que constituye el problema principal del tratamiento de las aguas negras. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:19)

**FIGURA 1.1 CONDICION FISICA Y COMPOSICION DE LOS SOLIDOS  
CONTENIDOS EN UN AGUA NEGRA DOMESTICA MEDIA**  
(Las cifras indican parte por millón)



FUENTE: DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK. 1980:19

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **1.7 GASES DISUELTOS**

Las aguas negras contienen pequeñas y variables concentraciones de gases disueltos. Entre los gases más importantes está el oxígeno, presente en el agua original del abastecimiento y disuelto también al ponerse en contacto con el aire, las aguas negras que fluyen. Este oxígeno, que familiarmente se conoce como oxígeno disuelto, es un componente sumamente importante de las aguas negras. Además del oxígeno disuelto, las aguas negras pueden contener otros gases, como el bióxido de carbono, que resulta de la descomposición de la materia orgánica; El nitrógeno disuelto de la atmósfera; el ácido sulfhídrico que se forma por la descomposición de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre. Aún que estos gases están presentes en pequeñas cantidades, su función es importante en la descomposición y tratamiento de los sólidos de las aguas negras e indican muy significativamente el progreso de tales procedimientos de tratamiento.

## **1.8 COMPOSICIÓN BIOLÓGICA DE LAS AGUAS NEGRAS**

Las aguas negras contienen además de los gases incontables organismos vivos la mayoría microscópicos. Su presencia es de suma importancia por que son uno de

los motivos para el tratamiento y el éxito del mismo incluyendo la degradación y descomposición.

**Bacterias.**- son organismos vivos de tamaño microscópico que constan de una sola célula y su proceso es vital así como sus funciones son similares a las de los vegetales. Las bacterias requieren como todos los organismos vivos de alimento oxígeno y agua. Solo pueden existir cuando el medio ambiente provee a estas necesidades. Como resultado de sus procesos vitales, las bacterias dan origen, a su vez a productos de desecho.

Se dividen en:

a).- **Bacterias parásitas** .- viven generalmente a expensas de otro organismo vivo llamado huésped, por que necesitan recibir el alimento ya preparado para consumirlo. Las bacterias parásitas que tienen importancia en las aguas negras, provienen por lo general del tracto intestinal de las personas y de los animales cuyas deyecciones van a para a las aguas negras. Entre las bacterias parásitas se incluyen ciertos tipos específicos que, durante su desarrollo en el cuerpo del huésped, producen compuestos tóxicos o venenosos que causan enfermedad al huésped, estas bacterias se conocen como bacterias patógenas.

b).- **Bacteria saprófitas.** - Son las que se alimentan de materia orgánica muerta descomponiendo los sólidos orgánicos para obtener el sustento necesario y

produciendo a su vez sustancias de desecho que consisten en sólidos orgánicos e inorgánicos. Hay muchas especies de bacterias saprófitas y cada una de ellas desempeña un papel específico en la descomposición de los sólidos orgánicos. Cada especie tiende a morir una vez que a cumplido su misión en el proceso de descomposición.

Todas las bacterias, parásitas o saprófitas, necesitan oxígeno para su respiración además de alimento. Algunas de ellas solamente pueden usar el oxígeno disuelto en el agua, el cual se conoce como oxígeno disuelto y a veces también como oxígeno libre o molecular. Estos organismos se conocen como bacterias aerobias y el proceso de degradación de sólidos orgánicos que llevan a cabo se denomina descomposición aerobia, oxidación o degradación. Este tipo de descomposición se lleva a cabo en presencia del oxígeno disuelto, sin que se produzcan olores ofensivos o condiciones desagradables. Otros tipos de bacterias no pueden existir en presencia de oxígeno disuelto, si no que tienen que obtenerlo del contenido de los sólidos orgánicos y de algunos inorgánicos, el cual se hace aprovechable en la descomposición de los sólidos. A tales microorganismos se les conoce como bacterias anaerobias y al proceso de degradación de sólidos que llevan a cabo se le conoce como descomposición

anaerobia o putrefacción, es decir, es la descomposición en ausencia de oxígeno disuelto, que da origen a olores ofensivos y condiciones desagradables.

En las complicadas reacciones que se verifican en la degradación de la materia orgánica, ciertos tipos aerobios se adaptan por si mismos a vivir y funcionar en ausencia de oxígeno disuelto y se conoce como bacterias aerobias facultativas.

Inversamente, algunas variedades de bacterias anaerobias pueden llegar a adaptarse a vivir y desarrollarse en presencia del oxígeno disuelto y por esto se conocen como bacterias anaerobias facultativas.

Para lograr una eficiencia máxima en su función, las bacterias requieren una temperatura favorable. La gran mayoría de los tipos saprófitos prosperan mejor a temperaturas que varían de 20° a 40° C. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:22)

**Organismos microscópicos.** - Además de las bacterias se encuentran en las aguas negras otros organismos vivos, de tamaño tan pequeño que sin la ayuda del microscopio no son visibles. Estos organismos también actúan en la descomposición y degradación de los sólidos orgánicos en las aguas negras, ellos emplean a los sólidos como alimento y producen desechos cuya estructura química es más sencilla. Estos productos de desecho. A su vez, sirven frecuentemente como alimento para ciertos tipos de bacterias saprófitas.

**Organismos macroscópicos.**- Existen también organismos más grandes y complejos que toman parte en la descomposición de la materia orgánica. A estos se les llama macroscópicos, es decir, visibles a simple vista. En estos se incluyen algunas variedades de gusanos e insectos en diversos estados de desarrollo. Algunos son activos aprovechando los recursos del tratamiento de las aguas negras y otros prevalecen en corrientes altamente contaminadas por aguas negras u otros desechos orgánicos.

**Virus.**- Estos son todavía más pequeños que cualquiera de los otros organismos microscópicos. No tienen un papel importante en el proceso de tratamiento de las aguas negras; su importancia estriba en que, como las bacterias patógenas, son los agentes causantes de ciertos número de enfermedades en el hombre.

(DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:24)

## **1.9 ESTADO DE LAS AGUAS NEGRAS**

La extensión y naturaleza de la descomposición bacteriana de los sólidos en las aguas negras, ha dado origen a ciertos términos que describen las condiciones o estado de las aguas negras.

**Aguas negras frescas.**- Como su nombre lo indica, son las aguas negras en su estado inicial, inmediatamente después de que se han agregado sólidos al agua.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Contienen el oxígeno disuelto presente en el agua del abastecimiento y permanecen frescas mientras haya oxígeno suficiente para mantener la descomposición aeróbica.

**Aguas negras sépticas** .- El término describe a las aguas en las que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto de manera que han entrado en descomposición anaerobia los sólidos con la consiguiente producción de ácido sulfhídrico y de otros gases.

**Aguas negras estabilizadas** .- Son las aguas negras en las que los sólidos han sido descompuestos hasta sólidos relativamente inertes que no están sujetos a descomposiciones ulteriores, o que son descompuestos muy lentamente. El oxígeno disuelto esta nuevamente presente por haber sido absorbido de la atmósfera; su olor es ligero o nulo, y tienen pocos sólidos suspendidos.

(DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:25)

## **1.10 CAMBIOS QUIMICOS EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS**

La actividad en la vida biológica en las aguas negras produce muchos cambios en la composición química de sus sólidos. Estos cambios químicos, o más bien dicho, cambios bioquímicos no solamente indican las actividades de los

microorganismos, si no que miden también el grado de descomposición de los sólidos y por ende la eficacia de cualquier proceso de tratamiento en particular. En el tratamiento de aguas negras, la fuerza física de la gravedad disminuye materialmente los sólidos suspendidos y en especial a aquellos que corresponden a la porción sedimentable. Los cambios bioquímicos producen, sobre los sólidos coloidales o no sedimentables, una eliminación de las moléculas de agua retenidas en ellos. Esta pérdida de agua hace que se aglomeren o floculen formando sólidos más pesados o sedimentables. Estos sólidos sedimentables, tanto orgánicos como inorgánicos, que se separan, se conocen respectivamente como lodos y arenas.

El tratamiento de las aguas negras no altera ni modifica los procesos naturales. Una planta de tratamiento no es si no un dispositivo que sirve para situar en el lugar más adecuado, un taller en el que los procesos naturales de descomposición de la materia orgánica muerta se llevan hasta donde sean necesario y, hasta cierto grado, se controlan y aceleran. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK. 1980:25)

## CAPITULO 2

### DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS

#### 2.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS

El tratamiento de las aguas negras es el conjunto de recursos por medio de los cuales es posible verificar las diferentes etapas que tienen lugar en la autopurificación de una corriente dentro de un área limitada y bajo condiciones controladas. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:31)

El tratamiento de aguas negras es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrecibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de éste cambio depende de el proceso de tratamiento empleado. Una vez completado todo el proceso de tratamiento, es aún necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se hayan separado.

#### 2.2 DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS

Hay tres métodos a seguir para llevar a cabo la disposición final de las aguas negras:

**1.- Disposición por irrigación.** - Consiste en derramar las aguas negras sobre la superficie del terreno, lo cual se hace generalmente mediante zanjas de regadío. Este método solo es aplicable a poblaciones relativamente pequeñas en las que se dispone la superficie necesaria. Su mejor aplicación es para las zonas áridas o semiáridas en las que tiene especial valor la humedad agregada al suelo.

**2.- Disposición subsuperficial.** - Este método Consiste en hacer llegar las aguas negras a la tierra por debajo de su superficie, a través de excavaciones o enlozados.

**3.- Disposición por dilución.** - Este método Consiste simplemente en descargar las aguas negras en aguas superficiales como las de un río un lago o un mar. Esto da lugar a la contaminación del agua receptora. El grado de contaminación depende de la dilución, o sea el volumen de las aguas negras y de su composición, en comparación con el volumen de aguas con que se mezclan. Cuando es pequeño el volumen de las aguas negras y su contenido orgánico, en comparación con el volumen del agua receptora, el oxígeno disuelto presente en el agua receptora es suficiente para que se produzca la descomposición aerobia de los sólidos orgánicos de las aguas negras, no desarrollándose condiciones molestas. Sin embargo, aunque las aguas receptoras mantengan su condición aerobia, la contaminación bacteriana sigue siendo una amenaza para la salud, y si no se

eliminan de las aguas negras los sólidos flotantes, éstos serán una evidencia de la contaminación. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:32)

El grado hasta el cual sea necesario llevar un tratamiento determinado varía mucho de un lugar a otro. Existen tres factores básicos determinantes:

- 1) Las características y la cantidad de sólidos acarreados por las aguas negras.
- 2) Los objetivos que se propongan en el tratamiento.
- 3) La capacidad o aptitud que tenga el terreno (para la disposición subsuperficial o por irrigación), o el agua receptora (en la disposición por dilución), para verificar la autopurificación o dilución necesaria de los sólidos de las aguas negras, sin violar los objetivos propuestos. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 5)

El avance de la autopurificación de una corriente puede medirse mediante pruebas adecuadas de laboratorio, las cuales incluyen pruebas físicas, químicas y biológicas.

Después de evacuar el efluente de una planta de tratamiento de aguas negras, quedan aún en ellas los sólidos y el agua contenida en los lodos, que han sido separados de las aguas negras, de los cuales tiene que disponerse también de forma segura y sin producir molestias. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 06)

### 2.3 FUNCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN LAS AGUAS RECEPTORAS

Cuando se descargan en el agua los sólidos de las aguas negras, tiene lugar la degradación y la descomposición debido a las actividades de las bacterias y los microorganismos presentes en las aguas negras y en las aguas receptoras. El oxígeno es necesario para que se verifiquen todas esas reacciones biológicas y bioquímicas. Como ya se ha dicho anteriormente, son los organismos aeróbios los que hacen éste trabajo si hay oxígeno presente y es la descomposición aerobia de los sólidos orgánicos la que tiene lugar. Cuando no hay oxígeno, son los organismos anaerobios los que predominan y resulta la putrefacción. Por consiguiente, cuando se descargan aguas negras en una corriente, las reacciones resultantes dependerán del oxígeno disuelto que contenga el agua.

El oxígeno se disuelve en el agua por el contacto del aire con la superficie del agua, hasta alcanzar el punto de saturación a una temperatura determinada.

A la temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 10.0 ppm. Cuando la concentración de oxígeno disuelto disminuye a menos del punto de saturación, se disuelve más el aire. El flujo turbulento de una corriente sobre las piedras, riscos y rápidos, aumenta la velocidad de disolución del oxígeno, o sea la reaeración. Por medio de la reaeración se consigue oxígeno disponible adicional

para la descomposición bioquímica de los sólidos orgánicos putrecibles.  
(DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:33)

## **2.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)**

La cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas negras o desechos, es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Se determina mediante una prueba de laboratorio. Como esta descomposición requiere de un periodo grande de tiempo y depende de la temperatura, los valores de la DBO de las pruebas de laboratorio deben especificar el tiempo y la temperatura usados en la prueba. Los que más generalmente se emplean son 5 días y 29 ° C y, a no ser que se especifique otro tiempo y temperatura, debe suponerse que fueron estos los que se emplearon.  
(DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:33)

## **2.5 AUTOPURIFICACIÓN DE UNA CORRIENTE**

Quando se descargan aguas negras en una corriente, continúan la degradación y la descomposición hasta completarse. Una corriente contaminada en un punto dado tenderá a volver a un estado similar al de antes de la contaminación, como resultado de la descomposición de la materia orgánica contaminante. A esto se le

designa comúnmente como proceso de autopurificación. Se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos. Las reacciones físicas son esencialmente: la de sedimentación de los sólidos suspendidos, formándose depósitos que se conocen como bancos de lodo; la de clarificación y otros efectos de la luz del sol y la reaeración.

Tiene lugar en cuatro etapas sin delimitación definitiva:

- 1).- **Zona de degradación.**- Queda inmediatamente del punto de contaminación presenta sólidos flotantes, el oxígeno disminuye casi no tiene fauna acuática por el poco oxígeno disuelto. Aún que no es visible, abunda la actividad biológica.
- 2).- **Zona de descomposición.**- Zona donde se inicia la descomposición anaerobia o putrefacción. Se caracteriza por el desarrollo de la descomposición anaerobia. El oxígeno disuelto está casi o totalmente agotado y ha desaparecido toda fauna acuática.
- 3).- **Zona de recuperación.**- Aparece el oxígeno disuelto en cantidades mayores, los sólidos orgánicos disminuyen se han extinguido las especies anaerobias quedando solo las aerobias y ya los peces sobreviven.
- 4).- **Zona de agua limpia.**- En esta fase la apariencia del agua es similar a antes de recibir el agua contaminante. No hay sólidos flotantes visibles, el agua

es clara, libre de materia suspendida, y ha recuperado su transparencia original.  
(DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:34)

## 2.6 NECESIDAD DE TRATAR AGUAS NEGRAS

El problema de disponer de las aguas negras fue imponiéndose debido a el uso del agua para recoger y arrastrar los productos de desecho de la vida humana. Antes de esto, los volúmenes de desecho, sin que el agua sirviese de vehículo, eran muy pequeños y su eliminación se limitaba a los excrementos familiares o individuales. El primer método consistía en dejar los desechos corporales y las basuras en la superficie de la tierra, en donde eran gradualmente degradados por las bacterias. Esto originaba la producción de olores ofensivos. Después la experiencia demostró que si estos desechos eran enterrados prontamente, se prevenía el desarrollo de tales olores. La siguiente etapa consistió en el desarrollo de los retretes o letrinas enterrados, que es un método de eliminación de los desechos de excrementos que todavía se emplea profusamente.

A medida que fue creciendo la población humana, con el proporcional aumento de volumen de aguas negras y desechos orgánicos así como el desarrollo de los suministros de agua a las poblaciones y el uso del agua para arrastrar o

transportar los desechos caseros, se hizo necesario el desarrollo de métodos de tratamiento antes de la disposición final de las aguas negras.

Los ingenieros que trabajan en diferentes aspectos del ambiente se ocupan de las obras desarrolladas para proteger y promover la salud pública y mejorar el ambiente.

En particular nos referiremos a una de las posibles soluciones al problema de contaminación del agua que sería por medio de las plantas de tratamiento de las aguas negras. La finalidad principal de estas es convertir el desecho crudo en un efluente final que sea aceptable y que este dentro de los requerimientos que señalan los reglamentos gubernamentales.

Los objetivos que hay que tomar en consideración en el tratamiento de aguas negras incluyen:

- 1) La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- 2) La prevención de enfermedades.
- 3) La prevención de molestias
- 4) El mantenimiento de aguas limpias para el baño y otros propósitos recreativos.
- 5) Mantener limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces.
- 6) Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.

## **7) La prevención del azolve de los canales navegables.**

Una planta de tratamiento de aguas negras se diseña para retirar de las aguas negras las cantidades suficientes de sólidos orgánicos e inorgánicos que permiten su disposición, sin infringir los objetivos propuestos.

Los diversos procesos que se usan para el tratamiento de aguas negras siguen estrechamente los lineamientos de los de autopurificación de una corriente contaminada. Los dispositivos para el tratamiento solamente localizan y limitan estos procesos a un área adecuada restringida y controlada, y proporcionan las condiciones favorables para la aceleración de las reacciones físicas y bioquímicas.

Una vez completado todo proceso de tratamiento es aún necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se hayan separado.

Desafortunadamente el número de plantas de tratamiento de aguas residuales en México se encuentra muy limitado debido en gran parte a los elevados costos de construcción, aún que su mantenimiento sea relativamente barato y seguro. Actualmente se puede disponer de una gama muy amplia de recursos (equipo, técnicas, procesos, etc.,) para la construcción de estas. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:37)

## **2.7 ORDENAMIENTOS LEGALES**

El gobierno federal ha tomado medidas para solucionar el problema de la contaminación desmedida del agua, mediante la creación de disposiciones legales que regulen la calidad del agua estableciendo límites en los parámetros contaminantes del agua de desecho tanto industrial como municipal.

Dichas medidas están asentadas en la "Ley federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental" la "Ley federal de aguas" y específicamente por medio del reglamento para la prevención y control de la contaminación de las aguas. Es importante hacer notar que para lograr que dichas medidas sean efectivas es necesario la colaboración de todos y cada uno de los habitantes del país, ya que de ese modo, se podrá confiar en que el desarrollo del país no será afectado por la escasez del agua.

El reglamento para la prevención y control de la contaminación de las aguas, que deriva de la Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental, establece que las descargas de aguas residuales de los sistemas de alcantarillado deben ser registrados ante la Comisión Nacional del Agua y, en un plazo de tres años, contados a partir de la fecha de contaminación del plazo disponible para registro de las descargas, la calidad del agua residual que se descargue deberá ser ajustada para que no sobrepase los límites máximos tolerables de los siguientes cinco parámetros:

**TABLA 2.1 DE MÁXIMOS TOLERABLES**

Sólidos sedimentables	1.0 ml/l
Grasa y aceites	70.0 mg/l
Materia flotante	Ninguna que pueda ser retenida por la malla de 3 mm. de claro libre cuadrado
Temperatura	35 ° C
Potencial Hidrógeno (PH)	4.5 - 10.0

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 4

El control de los cuales constituye uno de los procedimientos que el reglamento establece para la prevención y control de la contaminación del agua, a fin de preservar y restaurar la calidad de los cuerpos de agua del país. Por otra parte, el mismo reglamento estipula que todas las descargas de aguas residuales que sean vertidas al sistema de alcantarillado, con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos, están sujetas a las mismas condiciones ya mencionadas; sin embargo, los responsables de dichas descargas, de acuerdo con el reglamento, pueden optar por el pago de cuotas - 10.0 como derechos, fijen las disposiciones locales correspondientes, para cubrir los costos del tratamiento de las aguas residuales que efectúen las propias autoridades, en la planta de tratamiento para las aguas residuales del alcantarillado. Por tanto, siendo las autoridades municipales correspondientes, a través de los organismos locales que se integren para la prevención y control de la contaminación del agua, los responsables de la calidad del agua residual que sale del alcantarillado de la

localidad respectiva, tendrán que proveer el tratamiento necesario a la misma para que su calidad satisfaga los requerimientos previstos por el Reglamento Federal. Igualmente, serán responsables de vigilar el cumplimiento de las obligaciones legales de los responsables de descargas de aguas residuales que se realicen al sistema de alcantarillado, con el fin de asegurar la tratabilidad de las aguas residuales de la localidad en la planta municipal que se construya para tal fin, así como el cobro equitativo de las cuotas para cubrir los costos de tratamiento de las mismas; también para asegurar el buen funcionamiento del alcantarillado. Para cumplir con los requerimientos que señala el reglamento, tanto en lo referente a la calidad del agua de las descargas municipales como el servicio que el municipio tiene que proporcionar a los responsables que descargan aguas residuales al alcantarillado, se deberán diseñar y construir los sistemas de tratamiento que mejor se adapten a las condiciones locales. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 5)

## **2.8 IMPACTO AMBIENTAL**

El medio ambiente definido como el ámbito del sistema externo, físico y biológico en el que habita el hombre y otros organismos en una entidad propia. La utilización adecuada del medio ambiente depende del conocimiento de sus rocas,

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

sus cuerpos y corrientes de agua; de los suelos, su vegetación actual y potencial; la vida animal y sus actividades potenciales para la cría de ganado, así como el clima en general. Tal aprovechamiento requiere de una planificación positiva y realista para lograr el equilibrio entre las necesidades humanas y el potencial del medio ambiente para satisfacerlas.

El medio ambiente, no es un simple conjunto de condiciones naturales:

Es la imagen de la población que lo ha creado y, simultáneamente, es el molde de esa sociedad. La interdependencia del hombre y el medio influye sobre el desarrollo cultural y social de los pueblos, de tal manera que para alcanzar mejores condiciones de vida es necesario obtener una transformación cultural.

Si el hombre quiere olvidarse de la situación actual en la que se dedica mucho esfuerzo y recursos a corregir errores del pasado, debe preocuparse por construir una sociedad que sea intrínsecamente compatible con su medio ambiente.

El hombre no daña intencionalmente su medio ambiente, de la misma forma que ningún ser racional destruiría deliberadamente su propia vivienda.

Sin embargo, cuando el hombre actúa para satisfacer sus necesidades, cuando cultiva alimentos, cría ganado, construye presas y carreteras, establece

industrias y zonas urbanas; sus actividades tienen a menudo efectos secundarios que son perjudiciales para el medio ambiente.

Uno de los problemas que se ha venido agravando con el incremento industrial y la explosión demográfica en la República Mexicana es la contaminación del agua, causando una honda preocupación en las autoridades la solución de dicho problema, ya que el agua es vital para el desarrollo y progreso del país. (REVISTA MEXICANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 1996:S/N)

### **CAPITULO 3**

## **MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS**

### **3.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR**

El Objeto del tratamiento Preliminar consiste en separar de las aguas negras aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar las bombas, o interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento. Por lo tanto, los dispositivos para el tratamiento preliminar se diseñan para:

- 1) Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos. Estos sólidos consisten generalmente en trozos de madera, telas, papel, basura, junto con algo de materia fecal.

- 2) Separar los sólidos inorgánicos pesados, como la arena, la grava e incluso objetos metálicos; A todo lo cual se llama arena.
- 3) Separa cantidades excesivas de aceites y grasas.

Para lograr estos propósitos se usa un equipo muy variado.

### 3.1.1 Rejas y cribas de barras

Están formadas por barras usualmente espaciadas desde 2 hasta 15 centímetros. Generalmente tienen claros de 2.5 a 5 cm. Las limpian manualmente o por medio de rastrillos automáticos. Aunque algunas veces se usan las rejas grandes en posición vertical, la regla general es que deben instalarse con un ángulo de 45 a 60 grados con la vertical. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:47)

Si las aberturas son demasiado pequeñas, se obtendrá una gran cantidad de material, dando como resultado una gran pérdida de carga y un problema considerable con relación a su manejo y disposición.

En la mayoría de los casos se pueden remover adecuadamente las partículas y objetos pequeños mediante otros procesos en la planta de tratamiento. Por lo tanto, la abertura de las barras deberá ser tan grande como sea posible, pero que a la vez proteja al equipo que se encuentra posteriormente, como serían las

bombas, los mecanismos de recolección de arenas y los mecanismos de clarificación.

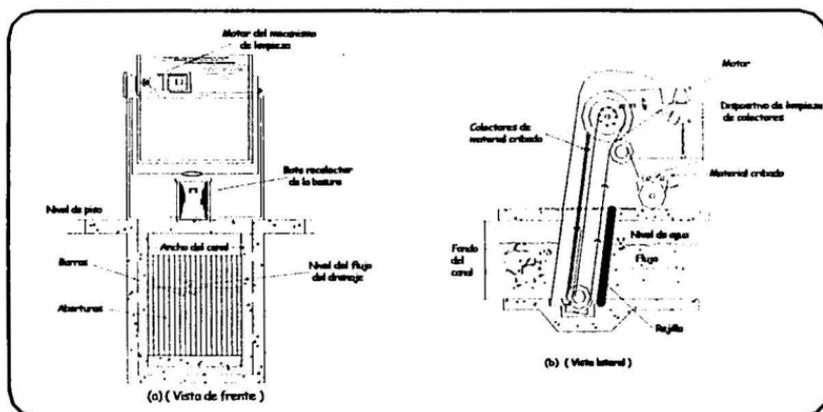
**TABLA 3.1 TIPOS DE DISPOSITIVOS DE CRIBADO**

Tipo de dispositivos de cribado	Tamaño común de abertura (cm)	Propósito
Rejas para basura	5-10	Protege bombas y equipo de los objetos grandes como: troncos, etc.
Rejillas	1.5-5	Parecido a las rejas para basuras con aberturas más pequeñas para remover ramas, sólidos mayores y otros residuos
Desmenuzadores	0.75-2	Reduce el tamaño de sólidos mayores mediante trituración o corte sin removerlos de las aguas residuales

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 23

Los sólidos separados por estos utensilios, se eliminarán, enterrándolos o incinerándolos, o se reducen de tamaño con trituradoras o desmenuzadoras y se reintegran a las aguas negras. A continuación se muestra un mecanismo de limpieza en la figura 3.1

**FIGURA 3.1 REJILLAS DE BARRA DE LIMPIEZA MECÁNICA**



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 27

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**TABLA 3.2 CANTIDAD DE MATERIAL CRIBADO POR UNA REJILLA EN FUNCIÓN DE LA ABERTURA ENTRE BARRAS**

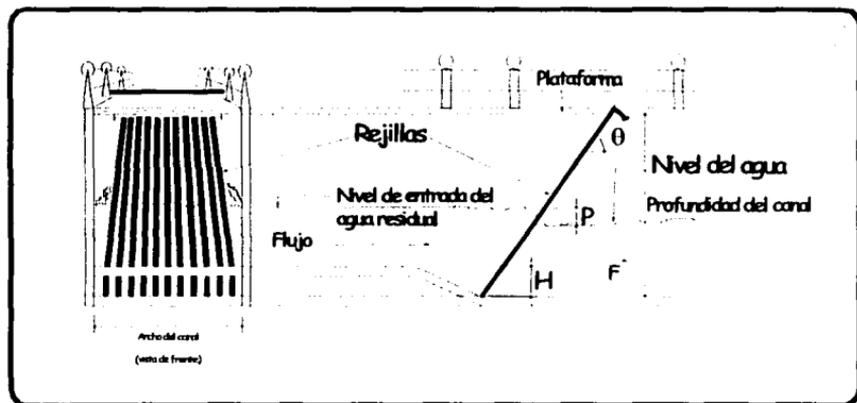
Abertura (cm)	Promedio de cribado ( $m^3/m^3$ de flujo)
6.5	$4 \times 10^{-6}$
5.0	$5 \times 10^{-6}$
4.0	$8 \times 10^{-6}$
2.5	$22 \times 10^{-6}$
1.5	$47 \times 10^{-6}$

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 26

La figura 3.2 presenta un diagrama simplificado de unas rejillas de limpieza manual, ilustrando los parámetros de diseño más importantes. El tamaño del canal donde está la rejilla depende del flujo del drenaje y de la velocidad requerida. La velocidad ( $V$ ) a través de las rejillas deberá mantenerse en ciertos límites para

prevenir caídas de presión excesivas o la posibilidad de forzar el paso de la materia cribada a través de las barras. Los valores generalmente aceptados son 60 cm/seg. En flujo normal y 90 cm/seg. En flujo máximo. Por otra parte, ésta velocidad está en función del caudal y del área efectiva de paso en la rejilla, determinada por las proyecciones verticales de las aberturas entre barras, medidas desde el fondo del canal hasta la superficie del líquido. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 29)

**FIGURA 3.2 SISTEMA DE REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL**



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 30

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TABLA 3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LAS REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL**

PARÁMETROS	VALORES TÍPICOS
V, Velocidad de flujo a través de la rejilla	60 cm/seg. Con flujo normal
H, desnivel entre la plantilla del canal de la rejilla y la del canal de entrada	8 a 15 cm
θ, ángulo de inclinación de las rejillas	30° - 60° para limpieza manual
P, caídas de presión	< 15 cm de agua

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 30

El área efectiva se calcula con la siguiente formula:

$$A = \frac{F}{V} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

V= La velocidad del flujo (m/seg.)

F= Flujo de diseño (m<sup>3</sup>/seg)

A= Área proyectada de las aberturas (m<sup>2</sup>)

El área húmeda será calculada con la expresión que a continuación se presenta:

$$A_h = \frac{A_{max}}{\text{Eficiencia de las rejillas}} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:

A<sub>h</sub> = área húmeda (m<sup>2</sup>)

A<sub>max</sub> = área máxima (m<sup>2</sup>)

La diferencia de elevación (H) entre el fondo del canal de la rejilla y el fondo del canal de entrada deberá ser de 8 a 15 cm aproximadamente, para contrarrestar la caída de presión a través de la rejilla. Con el área efectiva necesaria basada en el flujo y la velocidad, el canal se puede dimensionar para acomodar la rejilla, seleccionando la anchura y profundidad apropiadas. El canal de entrada deberá ser recto para proporcionar una distribución uniforme del flujo a la rejilla, y deberá mantener una velocidad aproximada de 45 cm/seg. A caudal promedio.

El ángulo de inclinación de la rejilla está en función de la técnica de limpieza prevista. Las rejillas colocadas en ángulos de 30° a 60° de la posición horizontal facilitan la limpieza manual. Las de limpieza mecánica generalmente se instalan con ángulos mayores, inclusive en posición vertical.

La selección del tamaño de las barras depende de las dimensiones requeridas de la rejilla y de los tipos de materiales que se espera remover del agua residual. La longitud debe ser tal que se extiendan por lo menos 25 cm, en proyección vertical, por arriba del nivel máximo del agua; por otra parte, deben ser lo suficientemente fuertes para que no sean dañadas por los sólidos que retendrán.

(COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 31)

**TABLA 3.4 CARACTERÍSTICAS RECOMENDABLES PARA LAS BARRAS**

<b>Longitud de las barras</b>	<b>Dimensiones aproximadas Espesor x Ancho</b>
Hasta 0.75 m	0.60 cm x 2.5 cm
De 0.75 a 2 m	0.80 cm x 5.0 cm
De 2 a 4 m	1.00 cm x 6.3 cm
Mayor de 4 m	1.25 cm x 7.5 cm

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 32

### 3.1.2 Desmenzadores

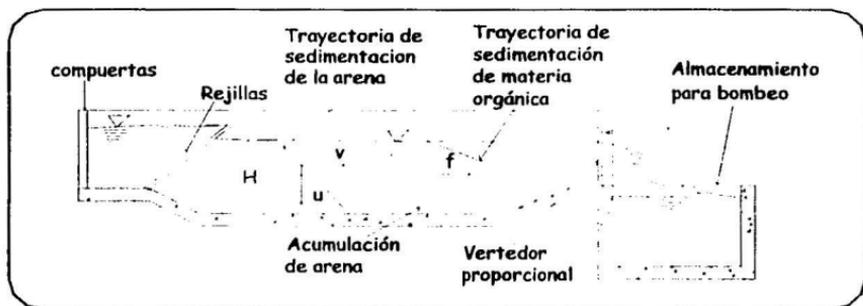
Los molinos, cortadoras y trituradoras, son dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos hasta un tamaño tal que permita que sean reintegrados a las aguas negras sin peligro de obstruir las bombas o las tuberías, o afectar los sistemas de tratamientos posteriores. Pueden disponerse aparte para triturar los sólidos que separan las cribas, o pueden ser combinaciones de cribas y cortadoras que se instalen dentro del canal por donde fluyan las aguas negras, de tal manera que se logre su objeto sin necesidad de separar los sólidos de las aguas negras. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 48)

### 3.1.3 Desarenadores

Se denominan arenas las partículas sólidas pesadas como la arena propiamente dicha, grava, cenizas u otros sólidos que son más pasados que la materia orgánica putrescible.

Los desarenadores se diseñan generalmente en forma de grandes canales. En estos canales la velocidad disminuye lo suficiente para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados manteniéndose en suspensión el material orgánico. Estos se localizan antes de las bombas o de los desmenuzadores. En la figura 3.3 se muestra el esquema común de una cámara desarenadora.

**FIGURA 3.3 CÁMARA DESARENADORA**

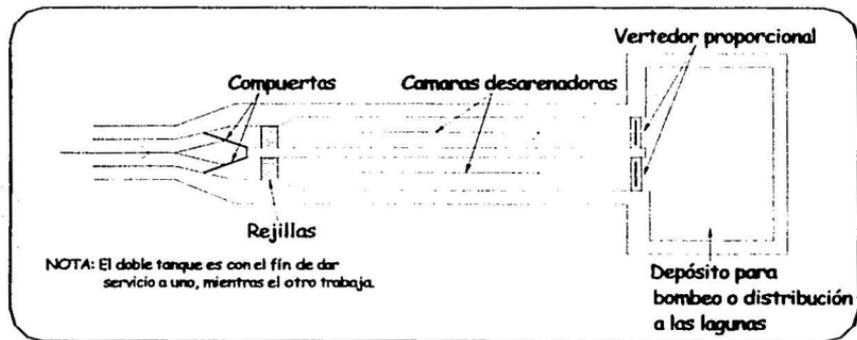


FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 42

Los desarenadores se diseñan para ser limpiados a mano o mecánicamente. Cuando se limpian manualmente, se provee generalmente de espacio para el almacenamiento de arenas depositadas. Las arenas siempre contienen algo de materia orgánica que se descompone y da origen a olores ofensivos. Para que se facilite la eliminación económica de las arenas sin causar molestias, la materia

orgánica se lava a veces de las arenas y se regresa a las aguas negras. La cantidad de arenas depende del tipo del sistema de alcantarillado tributario, del estado de sus líneas y de otros factores. En la figura 3.4 se ilustra una instalación típica de doble cámara desarenadora (en planta), considerando remoción manual de arenas.

**FIGURA 3.4 INSTALACIÓN TÍPICA DE DOBLE CÁMARA DESARENADORA**



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 42

Las cámaras desarenadoras utilizan el principio de la sedimentación diferencial para sedimentar las partículas de arena en tanto que permiten que el material orgánico ligero continúe suspendido. Por medio del control de la velocidad del flujo de las aguas residuales es posible controlar el tamaño y la densidad de las partículas a remover. La práctica común indica que la remoción de todas las partículas de 0.2 mm de diámetro o mayores, con una gravedad específica de 2.65

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

le dan una protección adecuada al equipo. Para el diseño de la cámara desarenadora, se recomienda mantener la velocidad en aproximadamente 30 cm/seg. Esto permitirá la sedimentación de arenas. Para lograr ésta velocidad, la cámara desarenadora se debe equipar con un dispositivo de control de velocidad como lo es un vertedor proporcional.

Para calcular la longitud de la cámara es necesario determinar la velocidad máxima, tirante máximo y la temperatura más baja. Considerando la ecuación siguiente:

$$L = \frac{H}{v} V \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Donde:

L= Longitud de la cámara desarenadora (m)

H= Tirante hidráulico (m)

v= velocidad de sedimentación de la cámara (m/s)

V= Velocidad del flujo (30 cm/s.  $\pm 25\%$ )(m/s)

Debido a los efectos de turbulencias y las alteraciones de entrada y salida, la longitud de la cámara deberá incrementarse un 40% sobre el valor teórico obtenido con la ecuación 3.3, así mismo, se debe proveer un espacio dentro de la cámara para la acumulación y almacenamiento de las arenas removidas.

Normalmente la cantidad de arenas en las aguas residuales varía en un rango de 0.01 a 0.06 m<sup>3</sup> por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua residual.

**TABLA 3.5 VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN CONTRA TEMPERATURA\***

Temperatura (°C)	Velocidad en (cm/seg.)
0	1.4
10	2.1
20	2.7
30	3.2

\* La partícula es de 0.2 mm con una gravedad específica de 2.65

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 35

El principio básico del vertedor proporcional figura 3.5 es que el gasto a través de él, varía directamente con la carga; esto es que el control del flujo va directamente relacionado con la forma del vertedor.

Las ecuaciones de diseño son las siguientes:

$$F = 2 b \quad 2 ag \left( h + \frac{2}{3} a \right) \text{ (Ecuación 3.4)}$$

Donde:

F= Flujo del agua residual (m<sup>3</sup>/seg.)

b= mitad del ancho del vertedor (m)

a= altura de la parte rectangular del vertedor (m)

g= gravedad (9.81 m/seg.<sup>2</sup>)

h= altura del vertedor (m)

$$H = h + \frac{2}{3} a \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

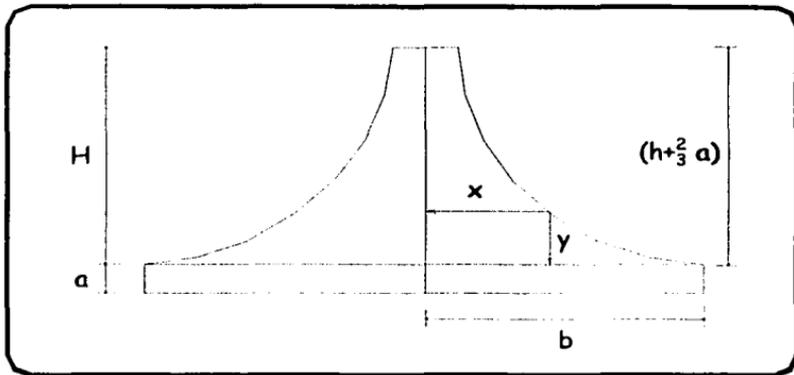
Donde:

H= tirante máximo (m)

h= altura del vertedor (m)

a= altura de la parte rectangular del vertedor (mínimo 1 plg)(m)

**FIGURA 3.5 VERTEDOR PROPORCIONAL**



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 38

Para calcular la curvatura del vertedor se utilizará la siguiente ecuación, en la cual  $\tan^{-1}$  debe estar en radianes:

$$X = b \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{y}{a} \right] \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

En muchos casos la cresta del vertedor estará a un mínimo de 10 centímetros. Y usualmente alrededor de 30 cm. por encima del fondo de la cámara para fines de almacenamiento. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 39)

#### **3.1.4 Tanques de preaeración**

A veces se procura una preaeración de las aguas negras, es decir, una aereación antes del tratamiento primario. La preaeración se logra introduciendo aire en las aguas negras durante un período de 20 a 30 minutos a la velocidad que se determine. Esto puede llevarse a cabo forzando el paso de aire comprimido a través de las aguas negras, o por agitación mecánica de las aguas negras de manera que se pongan continuamente en contacto con la atmósfera nuevas superficies que absorban el aire. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980:50)

### **3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO**

En éste proceso se retiran de las aguas negras los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Esto se lleva a cabo reduciendo la velocidad del flujo.

Este tipo de procedimiento se lleva a cabo en: Tanques sépticos, Tanque de doble acción y tanques de sedimentación simple.

### **3.2.1 Tanques sépticos**

Un tanque séptico es un depósito ( que puede ser de uno o más compartimentos), impermeable de escurrimiento continuo y forma rectangular o cilíndrica que recibe además de la excreta y agua residual proveniente de los inodoros, aguas grises de origen doméstico.

Está diseñado para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja y bajo condiciones anaerobias, por un periodo de 12 a 24 horas, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Su construcción es generalmente subterránea y puede hacerse de piedra, ladrillo, hormigón u otro material resistente a la corrosión. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1997: 35)

### **3.2.2 Tanques de doble acción o tanques Imhoff**

Este tipo de tanques ofrece ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad y requieren de una operación muy simple puesto que no tienen partes mecánicas.

### **3.2.3 Tanques de sedimentación simple**

Estos son tanques cuya función principal consiste en separar los sólidos sedimentables de las aguas negras, mediante el proceso de sedimentación. Los

sólidos pueden irse acumulando por gravedad, en una tolva o embudo, o hacia un punto más bajo del fondo del tanque, de donde se bombean o descargan por la acción de la presión hidrostática. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 60)

#### **3.2.4 Tratamiento químico**

Este tratamiento consiste en agregar uno o más reactivos a las aguas negras para producir un flóculo, que es un compuesto químico insoluble que absorbe la materia coloidal, envolviendo a los sólidos suspendidos no sedimentables y que se deposita rápidamente.

El tratamiento químico se suele considerar como un tratamiento intermedio.

Tiene aún aplicación en el tratamiento de desechos industriales que no son fácilmente atacables biológicamente y en donde las condiciones de las aguas receptoras exigen periódicamente un mayor grado de tratamiento que el tratamiento primario común, pero que no justifican un tratamiento secundario.

(DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 68)

### **3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Los procesos llamados secundarios, tienen como principal objetivo remover las sustancias coloidales y estabilizar la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Los procesos biológicos más comúnmente usados son los lodos activados, filtros goteadores y lagunas de estabilización; Sin embargo existen muchas otras modificaciones que pueden ser utilizadas para lograr los requerimientos específicos de tratamiento.

En estos tipos de tratamiento se emplean cultivos biológicos para llevar a cabo una descomposición aeróbica u oxidación del material orgánico, transformándolo en compuestos más estables, lográndose un mayor grado de tratamiento que el que se obtiene por solo una sedimentación primaria. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 21)

### **3.3.1 Filtros Goteadores o rociadores**

En éste caso, no ésta correctamente empleada la palabra "filtro", por que no se efectúa ninguna acción coladora ni filtrante. En realidad, un filtro goteador es un dispositivo que pone en contacto a las aguas negras sedimentadas con cultivos biológicos. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 71)

### **3.3.2 Tanques para la sedimentación secundaria**

Se usan cuando aún el efluente contiene sólidos suspendidos que deben ser eliminados antes de que se disponga de tal efluente por descarga en aguas receptoras. Para éste propósito se usan tanques de sedimentación secundaria o

de asentamiento final. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 83)

### **3.3.3 Lodos activados**

En el proceso de lodos activados, organismos vivos aerobios y sólidos orgánicos de las aguas negras se mezclan en un medio favorable para la descomposición aerobia de los sólidos, en éste medio el oxígeno es importante ya que en las aguas negras existe un déficit de éste por lo que se requiere mantener oxígeno disuelto continuamente en las mismas.

En general éste proceso se emplea después de la sedimentación primaria.

Los lodos activados son flóculos que tienen principalmente materia orgánica con gran cantidad de bacterias que tienen la propiedad de absorber la materia coloidal y disuelta, alimentándose de ella y convirtiéndola en sólidos insolubles putrecibles.

Los lodos activados producidos a partir de las aguas negras es necesario recolectarlos y usarlos nuevamente recirculándolos en un proceso acumulativo.

(DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 83)

### **3.3.4 Operación del proceso de lodos activados**

Los detalles de la operación varían en las diversas plantas de lodos activados, dependiendo de una serie de factores, como son el tipo de recursos disponibles,

la fuerza y características de las aguas negras, las temperaturas, los requerimientos de las aguas receptoras, y otros más. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 93)

### **3.3.5 Aeración por contacto**

Una planta de aeración por contacto, consiste de tanques en serie, en los que se lleva a cabo respectivamente la sedimentación primaria, la primera etapa de la aeración, la sedimentación intermedia, la segunda etapa de la aeración y la sedimentación final. Además hay que contar con recursos para el tratamiento y la disposición de los lodos. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 97)

### **3.3.6 Filtros de arena intermitente**

El filtro intermitente de arena es un lecho de arena especialmente preparado en el que pueden aplicarse intermitentemente efluentes del tratamiento primario, o de los filtros goteadores, o de los tanques de sedimentación secundaria, usando distribuidores en forma de colectores o de tubos perforados. El efluente del filtro se recoge en un sistema de desagüe en la parte inferior. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 97)

### **3.3.7 Lagunas de estabilización**

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento de desecho que consisten en estanques abiertos (construidos en tierra), usualmente de 1.0 a 5.0 metros de profundidad y reciben aguas residuales crudas o tratadas parcialmente. El grado de tratamiento recibido está en función del número de lagunas en serie y del tiempo de retención del agua residual en cada sistema. (MONTEJANO, 1969: S/N)

Son grandes depósitos rodeados de bordos, en los cuales el agua cruda es tratada por un proceso natural donde intervienen algas y bacterias. Dicho tratamiento es debido principalmente al tiempo de retención empleado, varía de 7 a 40 días. Es sin duda el mejor método de tratamiento de aguas residuales en climas cálidos, donde existe suficiente terreno, la temperatura favorezca su operación y la calidad del efluente sea aceptable. Esto no es limitante para emplearlas en climas cálidos, se usan en todas las latitudes, al norte de Alaska, también son usadas en países industrializados.

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realiza en las mismas, en forma espontánea, un proceso conocido con el nombre de autodepuración natural. Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas con alto contenido de materia orgánica putrescible ó biodegradable.

El proceso de la descomposición de la materia orgánica que hay en las aguas negras se verifica en dos etapas. La materia carbonosa de las aguas negras es primero desintegrada por los organismos aerobios, con formación de bióxido de carbono, el cual es utilizado por las algas en su fotosíntesis. La fotosíntesis es un proceso natural que se lleva a cabo en los tejidos verdes de los vegetales, bajo la influencia de la luz y la presencia de la clorofila, que es la sustancia a que deben el color verde los vegetales vivos. En éste proceso, el oxígeno del bióxido de carbono es liberado y se disuelve en el líquido en el que crecen las algas. Como resultado de esto, la materia orgánica de las aguas negras es convertida en algas y las aguas reciben oxígeno para mantener la ulterior descomposición aerobia. Los sólidos de las aguas negras entran al estanque en un estado altamente putrecible y salen en forma de células de algas muy estables, las cuales dentro de ciertos límites, pueden descargarse a las aguas receptoras sin causar efectos deletéreos.

Los procesos físicos, químicos y biológicos son similares a los que suceden en los cuerpos de agua natural, el sistema contiene bacterias y algas fotosintéticas que absorben los nutrientes solubles y fijan la energía del sol para formar la biomasa inicial, además contiene protozoarios o consumidores primarios y hongos o

levaduras que ayudan a la descomposición de ésta biomasa. (MONTEJANO, 1969: S/N)

Estos sistemas reproducen en pequeña escala los procesos naturales de oxidación o mineralización de la materia orgánica utilizando como fuente de energía la luz del sol. Su funcionamiento está determinado por factores tales como radiación solar, temperatura, pH, carga orgánica, profundidad, tamaño, configuración, orientación, contenido mineral del agua, macro y micronutrientes (nitrógeno, fósforo, molibdeno, fierro)

Los tipos de desecho que se pueden tratar por medio de estos procesos son: aguas residuales crudas, efluentes de tratamiento primario o secundario, lodos de retorno de un sistema de lodos activados, residuos que contengan sólidos sedimentables y algunos otros pequeños volúmenes de aguas residuales en lugares aislados. (GONZÁLEZ, 1981: S/N)

La finalidad de las lagunas de estabilización es obtener un efluente de características definidas: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), Sólidos suspendidos (SS), algas, nutrientes, parásitos, bacterias y protozoarios) de acuerdo a su reuso agrícola, acuícola, o para descarga a cuerpos receptores. (SRH, 1975: S/N)

En estos sistemas se lleva a cabo la oxidación de la materia orgánica mediante una combinación de sedimentación, digestión y conversión de desechos orgánicos por bacterias y algas, el proceso puede ser anaerobio, aerobio o una combinación de ambos. (COLLÍ 1994: S/N)

### **3.3.7.1 Clasificación**

De acuerdo a su contenido de oxígeno, las lagunas de estabilización se clasifican como:

- **Anaerobias.** Ausencia de oxígeno ( $O_2$ ) en todo el estanque

Proceso de biodegradación con microorganismos anaerobios

- **Facultativas.** Presencia de  $O_2$  en la superficie de la masa líquida

Ausencia de  $O_2$  en el fondo de la laguna. Proceso con microorganismos aerobios, anaerobios y facultativos.

- **Aerobias o de presencia de  $O_2$  en toda la masa líquida.**

Maduración. Proceso con microorganismos aerobios (UNAM, 1996: S/N)

En función del lugar que ocupa con relación a otros procesos, las lagunas se agrupan como:

- **Primarias** o de aguas residuales crudas

- **Secundadas** si reciben efluentes de otros procesos de tratamiento

De maduración si su propósito es disminuir el número de organismos patógenos

De acuerdo con el propósito del tratamiento de las aguas residuales, estos sistemas se clasifican en:

- Lagunas para remoción de sólidos y cargas orgánicas
- Lagunas para remoción de microorganismos patógenos (de maduración).
- Lagunas para criterios múltiples de calidad del efluente

Con relación a la secuencia de las unidades pueden clasificarse en:

- Lagunas en serie
- Lagunas en paralelo (IMTA, 1996: S/N)

### 3.3.7.2 Lagunas aerobias

En el proceso aerobio, las algas producen oxígeno ( $O_2$ ) con la energía del sol durante el proceso de fotosíntesis y por su reproducción generan nueva biomasa alga, mientras que las bacterias aerobias usan éste oxígeno para transformar los desechos orgánicos existentes en el agua residual en nuevas bacterias. Estos sistemas pueden alcanzar altas eficiencias de remoción de materia orgánica soluble. Las concentraciones de los sólidos suspendidos dependen del tipo de

laguna, la forma en que opera y su mantenimiento. Los patógenos originalmente presentes en las aguas residuales se remueven en gran proporción, haciéndose innecesaria la remoción de los efluentes. (IMTA, 1994: S/N)

### **3.3.7.3 Lagunas anaerobias**

Una laguna anaerobia (primera laguna) se caracteriza por su profundidad (2 a 5 m), una pequeña superficie (que limita la difusión del oxígeno de la atmósfera), carencia de algas, procesos fotosintéticos que liberan oxígeno y presencia de bacterias que no requieren oxígeno disuelto para la descomposición de la materia orgánica. (COLLÍ, 1994: S/P)

### **3.3.7.4 Lagunas facultativas**

Se caracterizan por presentar condiciones aerobias por su gran área superficial en la capa superior de la masa líquida y su poca profundidad (1.2 a 2.4 m) disminuyendo su concentración de oxígeno hacia el fondo de la laguna que es normalmente anaerobio. Todos estos puntos en combinación, permiten la oxigenación de la laguna a partir de dos fuentes: reaeración superficial y generación de oxígeno por las algas. Es necesario destacar que en estos sistemas también resulta de gran relevancia que la descomposición bacteriana anaerobia se lleve a cabo en las capas del fondo de las lagunas, siendo las bacterias

productoras de metano las responsables de una alta remoción de la DBO contenida en los sólidos sedimentables. (GLOYNA, 1971: S/N)

### **3.3.7.5 Lagunas de maduración**

Son lagunas de estabilización aerobias de muy baja tasa, terciarias o de pulimento. Reciben el efluente de la laguna facultativa o de otro proceso de tratamiento secundario, como por ejemplo lodos activados o biofiltros. Su función principal es la eliminación de microorganismos patógenos y proveer de un efluente de alta calidad. La carencia de nutrientes, la luz solar y la presencia de depredadores hacen que el número de patógenos disminuya rápidamente. Son diseñados con profundidades de 1 a 1.5 m por lo que en estas lagunas no hay una zona anaerobia, solamente existe una zona aerobia, la cual tiene la función de remover los microorganismos patógeno excretados, lo que ocurre por sedimentación de algunas bacterias o muerte ocasionada por la luz solar, pH, oxígeno disuelto y foto-oxidación. (FEACHEM, 1977, S/N)

### **3.3.7.6 Ventajas y desventajas**

Las lagunas de estabilización ofrecen las siguientes ventajas, siempre y cuando exista disponibilidad de terreno y su costo no sea excesivo:

- Son un proceso sencillo que no requiere de personal altamente capacitado para su operación y mantenimiento
- Es probablemente el proceso de tratamiento que presenta menos problemas, siempre y cuando se asegure un mínimo de atención a su operación y mantenimiento.
- Tienen los menores costos de capital, construcción, operación y mantenimiento que cualquier otro proceso de tratamiento a nivel secundario.
- No requiere de equipo de alto costo
- Requiere de poca energía eléctrica (bombeo del agua residual)
- Entregan efluentes de calidad igual o superior que algunos otros sistemas convencionales de tratamiento.
- Tienen capacidad amortiguadora para las variaciones en las cargas hidráulicas y orgánicas.
- Son duraderas y fáciles de operar
- Ofrecen altas eficiencias en la remoción de microorganismos patógenos.
- Presentan pocos problemas en el manejo y disposición de los lodos.
- Aplicación del agua tratada para reúso en agricultura y acuicultura.
- En climas cálidos tienden a ser más eficientes. (IMTA, 1994: S/N)

Las desventajas de éste proceso son:

- Requieren de extensas áreas de terreno para su ubicación.
- En lagunas anaerobias existe la potencialidad de proliferación de olores desagradables en caso de existir alta carga orgánica mayor que la carga de diseño y sulfatos mayores a 500 mg/l.
- Pueden contaminar el manto freático
- Pueden entregar un efluente con gran cantidad de sólidos suspendidos
- Requieren de una ubicación lejana a la población
- En climas fríos tienden a ser menos eficientes.

Sin embargo, algunas de estas desventajas pueden ser minimizadas con la impermeabilización del terreno, operación y mantenimiento adecuados. (IMTA, 1996: S/N)

### **3.3.7.7 Factores constructivos, de operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización.**

Las lagunas se construyen generalmente por excavación del terreno natural, formando un bordo perimetral con el fin de encerrar el área de tratamiento, evitar la aportación de escurrimientos superficiales y, en ocasiones, aumentar la capacidad de almacenamiento. Con frecuencia, se sobreexcava a mayor profundidad que la requerida por el proyecto ya que los depósitos naturales de

suelo normalmente no tienen las características adecuadas para un desplante directo, y se debe sustituir el material sobreexcavado por uno de relleno seleccionado y bien compactado.

#### **3.3.7.7.1 Identificación del sitio de construcción**

La selección del sitio de construcción de una laguna debe tomar en cuenta:

- La capacidad de tratamiento y de almacenamiento requerida
- Las necesidades de elevación (presión)
- La disponibilidad y costo del terreno.
- Ubicación respecto al drenaje existente y futuro
- Características físicas y geotécnicas del terreno
- Distancia hasta los linderos de urbanización

Un factor determinante en la localización de las lagunas es la disponibilidad de terreno. Si existen grandes áreas de tierra que pueden adquirirse a bajo costo, entonces se tiene un terreno adecuado para la instalación del sistema. (ARTHUR, 1990: S/N)

#### **3.3.7.7.2 Impermeabilización del sitio de construcción**

Para evitar la contaminación de acuíferos lo principal para una laguna es que el agua no se infiltre al subsuelo. Para ello es necesario seleccionar el sitio buscando que tenga un suelo impermeable, de preferencia arcillosa, evitar áreas con fallas

geológicas y lechos de río debido a los riesgos de infiltración. En caso de no ser así, deberá procederse a impermeabilizar el piso lo que puede representar el costo máximo de la construcción.

Básicamente las técnicas para impermeabilizar son tres:

- Suelos naturales y compactados
- Suelos locales mejorados con estabilizantes químicos o con la adición de suelos importados
- Revestimientos sintéticos (geomembranas o liners)

Antes de efectuar los cálculos para determinar las necesidades de impermeabilización se requieren conocer los siguientes elementos:

- Nivel freático
- Coeficiente de permeabilidad del material poroso
- Coeficiente de permeabilidad del material que sustituirá el material poroso
- Área del nivel medio de la laguna
- Profundidad útil de la laguna
- Profundidad del nivel freático en relación con el nivel máximo de la laguna.

La tasa de infiltración puede ser estimada mediante la ecuación siguiente, que involucra la ley de Darcy para un escurrimiento de tipo laminar a través de materiales porosos:

$$Q = K_p J A \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

$Q$  = tasa de infiltración,  $m^3/d$

$K_p$  = coeficiente de permeabilidad,  $m/d$

$J$  = Pérdida de la carga unitaria del escurrimiento,  $m/m$

$A$  = Area del nivel medio de la laguna,  $m^2$

#### 3.3.7.7.3 Revestimientos con suelos compactados

Mediante los análisis geotécnicos se conoce el tipo de suelo, grado y método de compactación que se utilizará. Los mejores suelos son las arcillas del tipo monmorilonítico (naturales) o bentónico (artificiales), debido a su composición química. El coeficiente de permeabilidad para arcillas no alteradas (impermeabilizadas) varía de  $10^{-9}$  a  $10^{-7}$  cm/s. Los silicoaluminatos de sodio son inestables en presencia de radicales oxhidrilos (OH) del agua con los que reaccionan fácilmente soltando el  $Na^+$  y tomando el OH. Esto hace que se hinchen de agua y sellen las fugas que pudieran existir, o bien, que reduzcan en gran medida la permeabilidad del suelo local. Su problema radica en que son, difíciles de manejar en estado puro así como de acomodar y de compactar,

requiriendo siempre de espesores importantes de aproximadamente 50 cm. Por capa.

Algunos limos plásticos también son usados con el fin de lograr impermeabilizaciones aun que su permeabilidad es mayor que la de las arcillas (del orden de  $10^{-8}$  cm/s). Los limos tienen la ventaja de ser fácilmente compactables y no se agrietan con la facilidad que lo hacen las arcillas, sobre todo al ser sometidas a cambios en su contenido de humedad.

La impermeabilización de una laguna con suelo compactado y fino es una técnica delicada que requiere un buen conocimiento de las propiedades de los suelos y un riguroso control de calidad. El revestimiento debe combinar varias propiedades: baja permeabilidad, estabilidad a los gradientes fuertes a los que se encuentra sometido y resistencia a la erosión. Si además la laguna debe vaciarse periódicamente el material deberá presentar una gran estabilidad volumétrica para evitar el agrietamiento por secado o, en su defecto, deberá protegerse adecuadamente. (MORALES Y MONROY EN IMTA, 1995: S/N)

#### **3.3.7.7.4 Suelos locales mejorados con estabilizantes químicos o con la adición de suelos importados.**

Se ha observado, que el sellado natural de una laguna puede ocurrir por alguno de los mecanismos siguientes:

- Taponamiento físico de los vacíos del suelo por sólidos sedimentados
- Taponamiento químico de los vacíos del suelo por intercambio iónico, y
- Taponamiento biológico y orgánico por crecimiento microbiano en el fondo del estanque.

Varios productos químicos que se mezclan con el suelo han sido usados con grados de éxito muy variables para sellar lagunas. Los cationes monovalentes (iones de sodio, potasio y amonio) disminuyen químicamente la porosidad del suelo al reemplazar los cationes polivalentes cálcicos. Se ha encontrado que la impermeabilización química puede ser efectiva en suelos con un mínimo de 8% de arcilla y 10 % de limo. Las sales que se usan con más frecuencia para el sellado químico son los polifosfatos de sodio, el carbonato de sodio y el cloruro de sodio. Debido a la compleja y variable composición química de los suelos, los tratamientos de ésta naturaleza solamente deben aplicarse después de un estudio de laboratorio que demuestre su efectividad.

Una segunda categoría de productos químicos está constituida por los aditivos que se agregan al agua para reducir las filtraciones. Otros son emulsiones de cera que forman una membrana delgada en el fondo.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Las arcillas altamente expansivas, tales como la bentonita, pueden reducir la permeabilidad del suelo natural al humedecerse.

Para revestir lagunas artificiales es posible dejar decantar una suspensión de bentonita en agua o mezclar la bentonita en seco con el suelo natural o con arena, previamente al llenado. También puede aplicarse sobre una cama de grava para sellar los huecos entre partículas o enterrarse bajo una capa protectora de suelo.

(COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 81)

### **3.3.7.7.5 Revestimientos sintéticos**

Las membranas sintéticas, también conocidas como geomembranas o liners, llegan a proporcionar permeabilidades hasta el orden de  $10^{-13}$  cm/s.

Al usar membranas sintéticas se busca generalmente eliminar totalmente las filtraciones. Así, quizá más que las propiedades en si del material sintético, la instalación de la membrana es primordial. En efecto, un desgarre o defecto local puede conducir a filtraciones importantes, aún si el terreno subyacente es poco permeable.

Existen, una gran variedad de membranas, sintéticas, las que se pueden dividir en los siguientes grandes grupos por su fabricación:

- De plásticos (PVC, PAD y poliamida)

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- De elastómeros (butilo, neopreno, etilpropileno terpolimero, etilenopropileno dieno monómero y etileno vinilacetato)
- De bentonita y geotextiles. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 81)

### 3.3.7.7.6 Forma y número de las lagunas

Aún cuando la forma superficial de la laguna puede ser cualquiera, lo común es que sea de una geometría simple (rectangular o cuadrada), con las esquinas redondeadas para permitir el uso de maquinaria pesada y facilitar la construcción. Lo ideal es que la relación largo/ancho de la laguna sea lo mayor posible para asegurar que el funcionamiento hidráulico corresponda a un régimen de flujo, tipo pistón o "j" reactores en serie, además de evitar los cortos circuitos o las zonas muertas. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 82)

### 3.3.7.7.7 Diseño de bordos

El aspecto más relevante para la construcción de las lagunas de estabilización es la formación de bordos que suelen diseñarse con éstas técnicas.

Los principales aspectos de diseño son:

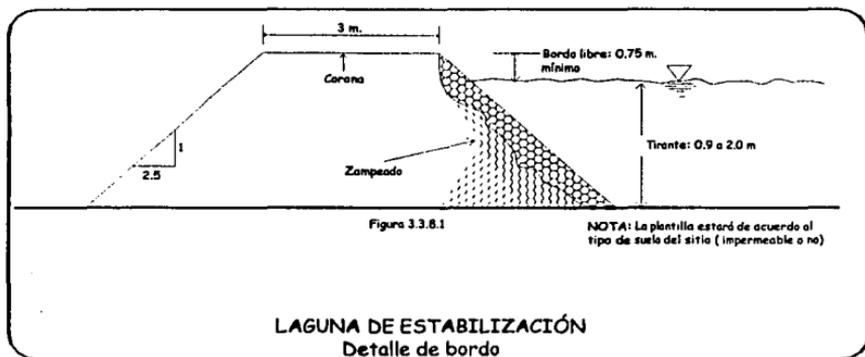
- Selección del material
- Estabilización de taludes
- Bordo libre
- Ancho de la corona

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- Cimentación
- Filtros y drenes
- Geometría de los bordos
- Protección contra oleaje y erosión. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 83)

## TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**FIGURA 3.6 DETALLE DE BORDO**



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 97

### 3.3.7.7.8 Selección del material del bordo

El bordo puede construirse, con muy diversos materiales. Si el suelo excavado es de calidad adecuada, el material extraído puede emplearse. Cuando no, es el caso, se debe usar material de bancos de préstamo lo que incrementa el costo de la obra. Si la laguna va a ser impermeabilizada con un revestimiento continuo el material puede incluso ser permeable. Para bordos sin revestimiento

impermeable. Es conveniente evitar el uso de materiales orgánicos, erosionables o demasiado plásticos. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 83)

#### **3.3.7.7.9 Ancho de la corona**

La corona de los bordos no debe tener un ancho menor que el requerido para que el equipo de compactación pueda trabajar en buenas condiciones (generalmente más de 3 m). Además debe ajustarse a las necesidades de tránsito para la operación de las lagunas. Conviene ser generoso en la selección del ancho para evitar accidentes, durante y después de la construcción. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 83)

#### **3.3.7.7.10 Bordo libre**

El bordo libre es la distancia vertical entre el nivel de la corona y el nivel máximo normal del líquido. Con excepción del caso de los vasos reguladores, la definición del bordo libre no depende de eventuales avenidas máximas puesto que la alimentación de la laguna es función de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje que sirve, y que se alimentan, en gran número de casos por bombeo. Por otra parte, las lluvias, por abundantes y prolongadas que sean, solamente pueden provocar una elevación del orden de algunos centímetros. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 84)

#### **3.3.7.7.11 Estabilidad de taludes**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

La estabilidad de los taludes de los bordos perimetrales no plantea generalmente problemas serios puesto que los terraplenes son de poca altura. Además, la pendiente de los taludes queda frecuentemente definida por el tipo de cimentación o de revestimiento con el que se recubren más que por consideraciones de estabilidad del bordo. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 84)

#### **3.3.7.7.12 cimentación**

Es importante verificar la posibilidad de falla por deslizamiento a lo largo de una superficie que pase, por un estrato de material de baja resistencia de la cimentación. Conviene tomar en cuenta que la presencia de un almacenamiento, del agua puede reblandecer (por saturación) materiales que, en estado seco, presentan una alta resistencia. Es necesario revisar además la posibilidad de falla por tubificación del suelo de cimentación. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 85)

#### **3.3.7.7.13 Filtros y drenes**

La incorporación de un filtro dentro del cuerpo del terraplén es una precaución costosa, pero justificada en los siguientes casos:

- ✓ Si existe peligro de agrietamiento vertical por asentamientos diferenciales debidos a la compresibilidad y heterogeneidad de la cimentación.
  - ✓ Si los materiales constitutivos del bordo son erosionables o dispersivos.
- (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 85)

#### **3.3.7.7.14 Protección contra oleaje y erosión**

La protección contra la erosión debe ser considerada en todas las pendientes y dar énfasis a las áreas donde se tiene los vientos dominantes y que por tanto, reciben además la fuerza del oleaje. La protección debe abarcar por lo menos 0.3 m por debajo del nivel mínimo del agua y 0.3 m por arriba del nivel máximo del agua.

Para el control de la erosión es necesario:

- ✓ Minimizar la energía de las ondas
- ✓ Reducir el impacto de las gotas de lluvia en el suelo compactado
- ✓ Incrementar la resistencia a la erosión del suelo compactado

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Las técnicas comunes para controlar la erosión incluyen:

- ✓ Cubrir con vegetación, se debe considerar el tipo de plantas, la pendiente del suelo y el espesor del suelo superficial.
- ✓ Emplear revestimientos, pueden ser de asfalto, concreto o membranas sintéticas.

✓ Usar rompeolas (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 86)

#### **3.3.7.7.15 Geometría de los bordos**

Por lo general, las pendientes de los taludes de los bordos se definen en función de la naturaleza del suelo y del tamaño de la instalación. La selección de la pendiente depende del material del bordo y la protección contra la erosión del agua.

Los bordos deben tener una pendiente no mayor de 1 sobre la horizontal y 2.5 sobre la vertical cuando el suelo es estable y pueden ser altamente compactados para evitar fallas. En ocasiones, se especifican pendientes de 1:5 para instalaciones de gran tamaño. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 87)

#### **3.3.7.7.16 Arranque del sistema de lagunas anaerobias**

Estas lagunas se llenan en forma continua hasta su altura de diseño, operan más eficientemente en el arranque si se les añade lodo digerido de cualquier proceso anaerobio, éste lodo proveerá el cultivo de organismos necesario y una capacidad de amortiguamiento inicial. Durante la primera etapa de fermentación ácida, puede adicionarse cal para elevar el pH de 6.5-7.0 y así obtener un buen control de olores y permitir el desarrollo de las bacterias metanogénicas, sin embargo, el establecimiento de condiciones permanentes de fermentación toma un tiempo

considerable dependiendo de la temperatura. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 121)

#### **3.3.7.7.17 Arranque del sistema de lagunas facultativas**

Una laguna facultativa no puede recibir inmediatamente la DBO o la carga hidráulica de diseño. En primer lugar, el crecimiento de las algas no puede establecerse tan rápidamente como la población bacteriana, por lo que es necesario un mayor periodo de aclimatación que las anaerobias; en segundo lugar ésta laguna puede requerir tiempo para un autosellado u obturación de los intersticios de la capa del fondo y, como tercer punto, la población servida para la cual fue planeada la laguna puede no estar conectada al sistema de alcantarillado. Normalmente las lagunas son llenadas gradualmente (1/10 del gasto final) permitiendo el desarrollo de poblaciones de bacterias y algas (esto toma de 10 a 20 días) y alcanzan el gasto final en un mes, pero lo ideal es llenarlas con agua clara y lodo digerido antes de introducir el agua residual. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 122)

#### **3.3.7.7.18 Arranque del proceso de lagunas de maduración**

Deberán llenarse con agua clara antes de cargarlas. La primera laguna de la serie, cuando se tenga, puede recibir el efluente de la laguna facultativa una vez

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

que esté disponible y las siguientes lagunas de maduración sólo aceptarán el efluente de la laguna precedente hasta que ésta haya recibido su carga completa.

Donde no exista agua clara disponible para llenar las lagunas de maduración antes de adicionar el desecho, éstas se deberán se deberán llenar rápidamente con agua residual cruda y dejarla durante veinte días; posteriormente sólo se adicionará agua residual para compensar las pérdidas por evaporación e infiltración. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 123 )

#### **3.3.7.7.19 Indicadores de operación cualitativos: Color, transparencia, olor y observaciones microscópicas**

La inspección visual, de los sistemas lagunares proporciona, información relativa a la forma en que están operando. El color y la observación al microscopio de los organismos presentes indican el grado de estabilidad del sistema. El olor es otro indicador cualitativo importante del funcionamiento.

##### **Color**

En los sistemas lagunares la observación de la coloración y apariencia del agua proporcionan datos importantes sobre las condiciones generales del proceso y ayudan a pronosticar un cambio en el comportamiento del sistema. Las posibles causas de la variación en la coloración y apariencia del agua en las lagunas son debidas a la presencia de diferentes tipos de microorganismos, picos de carga

orgánica, temperatura, pH, intensidad de la luz y volumen del líquido, entre otros.

Los colores que comúnmente se encuentran son los siguientes:

- ⇒ **Verde oscuro.** - Indica que la laguna está operando normalmente
- ⇒ **Verde denso.** - Indica un crecimiento excesivo de algas que pueden ser resultado de una reducción de la capa aerobia. Se pueden tener entonces condiciones anaerobias en las zonas profundas de la laguna.
- ⇒ **Verde lechoso.** - Usualmente, indica que ha comenzado el proceso de la autofloculación. Esto sucede cuando el pH y la temperatura de la laguna se han elevado hasta, un punto en que se produce la precipitación, de los hidróxidos de calcio o de magnesio, acarreando consigo a las algas y otros microorganismos.
- ⇒ **Azul verde.** - Una coloración azul verdosa con aspecto oleoso es una indicación de la presencia de algas cianofitas. Algunas de estas son formadoras de natas que impiden el paso de la luz solar y otras producen toxinas. En ambos casos no es normal el funcionamiento.
- ⇒ **Cafe-amarillento o pardo .** - Es causado por el crecimiento excesivo de rotíferos o de crustáceos microscópicos como la pulga de agua, las cuales se alimentan de algas y pueden acabar con la población en pocos días. Como

consecuencia el oxígeno disuelto, disminuye, se modifica el pH y probablemente hay generación de malos olores.

- ⇒ **Verde-amarillento o blanquecino.**- Indica que inicio el proceso de acidificación de la laguna y si llega a condiciones extremas puede detener el proceso biológico.
- ⇒ **Rosada.**- Se presenta ocasionalmente en las lagunas de pulimento debido a las mismas causas que el color Cafe-amarillento.
- ⇒ **Rojizo.**- Puede indicar la presencia de bacterias reductoras de azufre y, por lo tanto, condiciones anaerobias.
- ⇒ **Gris.**- Generalmente, se presenta cuando la laguna ha sido sobrecargada con materia orgánica y/o el tiempo de retención es tan corto que no se obtiene la completa estabilización de la materia orgánica.
- ⇒ **Negro con presencia de materia flotante.**- Indica una rápida degradación de los lodos del fondo provocado por cambios en la composición del agua, residual o por sobrecarga. Presenta mal olor. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 124)

### **Transparencia**

La transparencia ofrece una excelente indicación de las concentraciones de algas y por lo tanto, del oxígeno disuelto en la laguna.

## **Olor**

La emisión de malos olores normalmente es causada por sobrecargas de la laguna, el aumento repentino en la carga orgánica, los cambios en la composición del agua residual o el desarrollo de condiciones anaerobias. Generalmente, provienen de los depósitos de lodo flotante y de la vegetación en putrefacción de la propia laguna.

### **Observaciones microscópicas**

Las observaciones microscópicas del licor mezclado proporcionan información importante acerca de las condiciones operativas del proceso. El tipo, especie y número de los principales organismos que integran la dinámica de la población biológica permiten determinar las condiciones de aereación, inhibición, carga, etc., sin tener que recurrir a complejas determinaciones analíticas. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 125)

### **3.3.7.7.20 Indicadores de operación cuantitativos de la localización de la toma de muestra.**

El número de muestras a coleccionar, el tipo de análisis y la ubicación de los puntos de muestreo son los aspectos más relevantes para obtener la información cuantitativa sobre la operación. Esta información junto con la cualitativa sirven

para ejecutar una evaluación completa y el correcto control de la operación de las lagunas.

#### Localización de la toma de muestras

El control de un proceso de tratamiento se basa en la medición de parámetros de calidad del agua. Los más significativos para éste sistema son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites (G y A), coliformes fecales (CF), nitritos (N - NO<sub>2</sub>), nitratos (N - NO<sub>3</sub>), nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), nitrógeno protelco (N-Norg), fosfatos totales, (P-PT), y ortofosfatos (p-PO<sub>4</sub>). (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 126)

La frecuencia requerida para la toma de muestras se indica en la tabla 3.6: la cual, debe ser ajustada al tamaño y complejidad del sistema lagunar las condiciones económicas del organismo operador y las condiciones de operación.

**TABLA 3.6 FRECUENCIA DE MUESTREO**

PARÁMETRO	No DE VECES EN UN MES
Transparencia	8
PH	8
Temperatura	8
Conductividad eléctrica	8
Oxígeno disuelto	8
DBO	4
DQO	4
Sólidos suspendidos	4
Grasas y aceites	2

Observación microscópica	2
Nitrógeno amoniacal	1
Nitratos	1
Nitritos	1
Nitrógeno protelco	1
Fosfatos totales	1
Ortofosfatos	1
Coliformes fecales	1
Huevos de helminto	1 vez/año

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 128

### 3.3.7.7.21 Frecuencia de monitoreo del influente

En el influente de la planta de tratamiento se deben analizar en forma rutinaria los parámetros de la tabla 3.6. La periodicidad señalada es la ideal, y su aplicación depende de la disponibilidad de la infraestructura para llevarla a cabo.

### 3.3.7.7.22 Frecuencia de monitoreo del efluente

El efluente del proceso de tratamiento será aquel que salga de la estructura que permite la sedimentación de los sólidos suspendidos. En función de su calidad y la del influente se define la eficiencia global. Se determinan prácticamente los mismos parámetros y con la misma periodicidad que para el influente.

El parámetro que mejor, refleja la variación de las condiciones del proceso de tratamiento es la concentración de oxígeno disuelto, ya que a mayor concentración de materia orgánica corresponde, un incremento en la actividad biológica y un mayor consumo de oxígeno.

### 3.3.7.7.23 Frecuencia de monitoreo del cuerpo de la laguna

Los principales parámetros que deben ser evaluados en el cuerpo de una laguna son la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado (sólidos suspendidos totales), las condiciones ambientales (pH, temperatura y oxígeno disuelto), la identificación de zonas muertas bajo oxígeno disuelto y la posible acumulación de lodos dentro de la laguna. En cada uno de los sitios de muestreo se toman dos alicuotas del contenido, una a 50 cm de la superficie y la segunda a las 2/3 partes de la profundidad del agua. En cada uno de estos sitios se determinarán los parámetros del campo. Para la determinación de la acumulación de los lodos dentro de la laguna es necesario medir en sitios específicos del fondo. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 129)

#### **3.3.7.7.24 Evaluación de la eficiencia**

Dado que esencialmente las lagunas de estabilización se utilizan para remover microorganismos patógenos y la demanda bioquímica de oxígeno los principales parámetros de control son el número más probable (NMP) de coliformes fecales y la concentración de DBO, convirtiéndose estos en análisis rutinarios que deben realizarse al influente y al agua tratada. Así mismo, es recomendable evaluar la eficiencia de las lagunas en función de la remoción de huevos de helmintos, grasas y aceites, nitrógeno y fósforo, parámetros que se evalúan periódicamente. Para identificar si las condiciones ambientales limitan la actividad biológica es

necesario medir el pH, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de salinidad. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 130)

#### **3.3.7.7.25 Factores del proceso: Gasto de entrada y nutrientes**

Los factores que afectan la degradabilidad de la materia orgánica y, por lo tanto, la eficiencia de la laguna son las condiciones ambientales: Temperatura, pH y presencia de sustancias tóxicas. Para fines prácticos, la única opción real para controlar el proceso es el aumento, disminución o interrupción por un periodo, del gasto de entrada.

En caso de que se identifique deficiencia de nutrientes (N y/o P), éstos, deben ser agregados en forma proporcional para asegurar el buen funcionamiento del sistema biológico. La forma más económica y simple de hacerlo es mediante el empleo de estiércol o de fertilizantes comerciales. Se debe identificar el contenido de cada elemento en los productos para agregar las cantidades apropiadas del compuesto. (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 130)

### **3.4 CLORACIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS**

La cloración de las aguas negras consiste en la aplicación de cloro para lograr un propósito determinado. El cloro puede introducirse en forma de gas, de solución acuosa, o en la forma de hipoclorito, ya sea de Sodio o de Calcio, los

cuales, al disolverse en agua desprenden cloro. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 101)

### 3.4.1 Reacciones del cloro con las aguas negras

Si se agrega una pequeña cantidad de cloro a las aguas negras, se consumirá al reaccionar rápidamente con sustancias como el ácido sulfhídrico y el hierro ferroso. En estas condiciones no se logra ninguna desinfección. Si se agrega suficiente cloro para reaccionar con todas estas sustancias, que se conocen como compuestos reductores, entonces otro poco más de cloro que se agregue reaccionará con la materia orgánica presente y formará compuestos orgánicos clorados, los cuales tienen una ligera acción desinfectante. Ahora bien, añadiendo el cloro suficiente para reaccionar con todos los compuestos reductores y la materia orgánica, entonces la adición de algo más de cloro actuara sobre el amoniacó, u otros compuestos nitrogenados, produciendo cloraminas u otras combinaciones del cloro que tienen acción desinfectante.

El monto de las sustancias reductoras, tanto orgánicas como inorgánicas, varía tanto, que la cantidad de cloro que tiene que agregarse a las aguas negras para diversos propósitos, resulta también muy variable. El cloro que consumen esas sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas, se define como demanda de cloro. Es igual a la cantidad que se agrega, menos la que permanece como cloro

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

combinado después de un cierto tiempo que generalmente es de 15 minutos. La cantidad que queda después de satisfacer la demanda de cloro es la que lleva a cabo la desinfección. Esta cantidad de cloro en exceso sobre la demanda de cloro, se define como un cloro residual y se expresa en partes por millón. Por ejemplo: Un clorador se ajusta para alimentar 25 kg. de cloro en 24 horas; El gasto de las aguas negras es de 3400 m<sup>3</sup> y el cloro medido mediante la prueba de la Ot (Ortotolidina) después de 15 minutos de contacto es de 0.5 ppm., entonces:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Cloro agregado} \\ \text{O} \\ \text{cloro dosificado} \\ \text{y por lo tanto:} \end{array} \right\} \frac{25}{3,400} \times 1000 = 7.3 \text{ gr./m}^3, \text{ o sea } 7.3 \text{ ppm.}$$

Dosificación de cloro en ppm	7.3
Menos: cloro residual en ppm	0.5
<b>Demanda de cloro</b>	<b>6.8 ppm</b>

### 3.4.2 Propósitos para la cloración

Ninguno de los métodos primario o secundario de tratamiento de aguas negras puede eliminar completamente de ellas a las bacterias patógenas que siempre están presentes potencialmente. Cuando las aguas negras o los efluentes de sus tratamientos se descargan en masas de agua que van a usarse, o que pueden ser usadas como fuente de abastecimiento público, o para propósitos recreativos, se requiere un tratamiento para destruir los organismos patógenos, a fin de que

sean mínimos los peligros para la salud debidos a la contaminación de tales aguas receptoras. Tal tratamiento se conoce como desinfección. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 102)

### **3.5 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS LODOS**

Los lodos de las aguas negras son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentados. Por su origen reciben el nombre de primarios, secundarios, exceso de lodos activados o lodos químicos. Por su estado o tratamiento recibido pueden denominarse crudos o frescos, digeridos, elutriados, húmedos o secos.

Como con la porción líquida de las aguas negras, debe disponerse de los sólidos contenidos en los lodos. Así como con la porción líquida, los lodos deben someterse, en general, a algún tratamiento que sea capaz de modificar sus características para que pueda disponerse de ellos sin poner en peligro la salud o causar molestias.

#### **3.5.1 Tratamiento de los lodos**

Cualquier tratamiento de lodos pretende uno o los dos objetivos siguientes: Disminuir, por eliminación de agua, el volumen para subsecuentes tratamientos y disposición o transformación de los sólidos orgánicos putrescibles en sólidos orgánicos más estables o inertes.

La proporción de sólidos y de agua de los lodos depende de la naturaleza de los sólidos, de su procedencia, ya sea de tanques de sedimentación primaria o secundaria y de la frecuencia con que sean removidos de estos tanques.

Es conveniente manejar lodos lo más concentrados posibles, por las siguientes razones: Para economizar espacio de almacenamiento en el digestor, o para hacer que dure más el periodo de digestión de los sólidos; para economizar capacidad en las bombas; para que los digestores con calentamiento requieran de menores cantidades de calor; y para que disminuyan los requerimientos de calor y energía en otros tipos de tratamiento de lodos. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 117)

### 3.5.2 Métodos de tratamiento de los lodos

Para dar el tratamiento a los lodos se puede emplear los siguientes métodos ó procesos, hasta la disposición final de los productos:

- **Espesamiento.** - Este proceso consiste en concentrar los lodos diluidos para hacerlos más densos en tanque especiales diseñados para éste propósito.
- **Digestión con o sin calentamiento.** - El propósito de la digestión es lograr los dos objetivos del tratamiento de los lodos, o sea: una disminución en el volumen y la descomposición de la materia orgánica muy putrescible hasta formar compuestos orgánicos e inorgánicos inertes o relativamente estables.

- **Secado sobre lecho de arena.** - El lecho secador, de arena, es un dispositivo que elimina una cantidad de agua suficiente para que el resto pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70%.
- **Acondicionamiento químico.** - El acondicionamiento de los lodos por medios químicos, los prepara para un mejor y más económico tratamiento. La adición de el producto químico a los lodos, baja el valor de su pH hasta el punto que las partículas más chicas se coagulan formando otras más grandes y el agua contenida en los sólidos se separa más fácilmente.
- **Elutriación.** - En el tratamiento de los lodos significa extraer de los lodos, por medio de agua o efluentes de plantas de tratamiento, los compuestos amínicos o amoniacales que se encuentren en cantidades excesivas para disminuir la demanda del coagulante. Por lo tanto, se usa como un pretratamiento, antes de la coagulación con productos químicos.
- **Filtración al vacío.** - El filtro al vacío que se emplea para eliminar el agua de los lodos, consta de un tambor sobre el cual descansa el medio filtrante formado por una tela de algodón, lana, nylon, dynel, fibra de vidrio o de plástico o una malla de acero inoxidable.
- **Secado con calor.** - Cuando los lodos van a servir para la fabricación de fertilizantes, el contenido de humedad debe disminuir hasta cerca del 10%

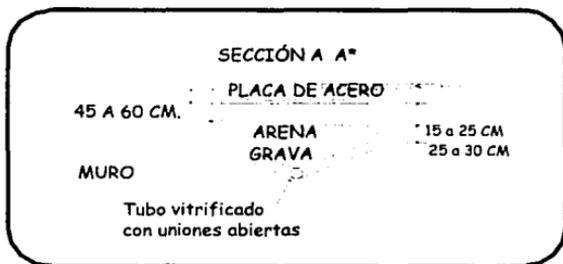
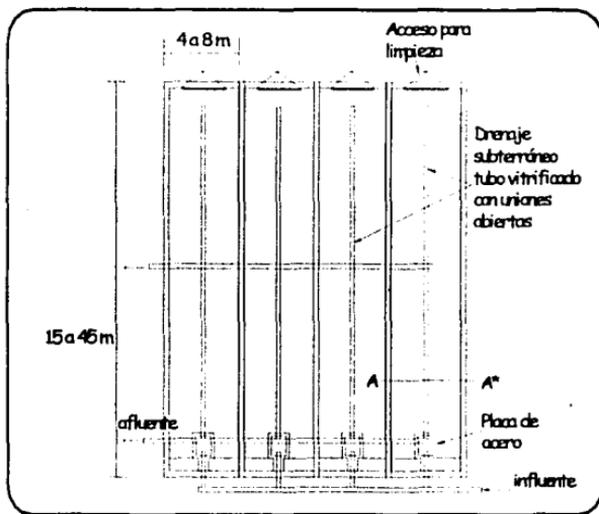
cifra muy inferior a la que se logra normalmente en los lechos filtrantes o por medio de la filtración al vacío. Cuando los lodos van a ser incinerados, deben secarse, hasta un punto en el que puedan encenderse y quemarse. Para tal fin se usa el secado por calentamiento.

- **Incineración.** - La incineración de los lodos se considera muy comúnmente como un método para la disposición de estos. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE NUEVA YORK, 1980: 117)

### **3.5.3 Disposición de los lodos**

La disposición final de los lodos resultantes del tratamiento de las aguas residuales merece consideraciones cuidadosas. El método seleccionado no debe crear problemas adicionales de contaminación. Figura 3.6 configuración típica de un lecho de secado de lodos.

**FIGURA 3.7 PLANO Y SECCIÓN DE UN LECHO TÍPICO DE SECADO DE LODOS**



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, S/F: 156

Los métodos de disposición aceptables son: relleno de terrenos, aplicación a tierras de cultivo y enterrado. En ciudades costeras otra posible alternativa es la disposición de los lodos al mar.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### ➤ **Relleno de terrenos**

El relleno de terrenos es muy conveniente para la disposición de los lodos desecados, material cribado y de residuos de incineración, y es factible cuando el terreno es adecuado, hay disponibilidad y la localización es apropiada. Deben estudiarse la geología, hidrología y condiciones del suelo por personal calificado para asegurar que las aguas subterráneas estén protegidas.

### ➤ **Aplicación a terrenos de cultivo**

La aplicación de los lodos a terrenos de cultivo puede ser un método económico de disposición. Los lodos líquidos contienen nutrientes y son de valor fertilizante para las plantas, aún que la aplicación de los lodos crudos a terrenos involucra riesgos potenciales para la salud.

### ➤ **Enterrado**

Este método se usa principalmente para los lodos crudos en donde, a no ser que se cubran con tierra, originen serias molestias por el olor. Cuando se dispone de grandes superficies de terreno, el enterrado de los lodos crudos es quizá el método más económico de disponer de ellos, por que elimina el costo de cualquier proceso de tratamiento. Pero se puede tener el inconveniente de que contamina los mantos fríaticos subterráneos. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1980: 140)

## CAPITULO 4

### ANTECEDENTES

#### 4.1 RECOPIACIÓN, ANÁLISIS, ACTUALIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

La información a partir de la cual se integró el marco físico de la región de Nueva Italia se recopiló básicamente en la síntesis Geográfica del estado de Michoacán editada por el INEGI. En cartas topográficas y recorridos por la zona en cuestión, se pudieron detectar rasgos morfológicos característicos de la región, entre otros, la escasez de agua para cultivar y por otra parte la abundancia de tierras aptas para el cultivo. Se consultaron archivos de la presidencia municipal, de la Comisión Nacional del Agua (CNA), y algunas publicaciones del INEGI para conocer los fenómenos meteorológicos de la región y de la zona hidrológica en que se sitúa.

##### 4.1.1 Marco físico

**Localización geográfica.**- El estado de Michoacán de Ocampo forma parte de la región centro - occidente del país, se ubica a los 20° 23' 44" y 18° 09' 49" de latitud norte, y los 100° 04' 48" y 103° 44' 20" de longitud oeste. Comprende una superficie de 58, 836.95 km<sup>2</sup>, por lo que ocupa el decimosexto lugar nacional

en extensión. Limita al norte con los estados de Jalisco y Guanajuato, al noreste con Querétaro, al este con el estado de México, al sudeste y al sur con el estado de Guerrero, al oeste con Colima y al sudoeste con el océano Pacífico.

Francisco J. Múgica como Municipio se encuentra ubicado en el sudoeste del Estado de Michoacán, en el Plan o Valle de Tierra Caliente, considerándose éste Plan como una depresión geográfica entre la sierra norte donde se localiza el pico de Tancítaro, la sierra de Coalcomán, Aguililla y Arteaga hacia el sur, La del Tigre hacia occidente y la de Ario Rosales al oriente. La depresión representa una anchura de 75 a 115 km., de terreno accidentado y una inclinación general de norte a sur y de oeste a este, tan pronunciada que en el término de unos cuantos kilómetros, desciende de los 1500 a 500 metros de altura sobre el nivel del mar. La faja comprendida en éste rápido declive es conocida como Boca Sierra y tanto geológica como climatológicamente es una forma de transición entre las formas serranas y de Tierra Caliente. Esta última subregión forma una gran planicie ligeramente inclinada entre los 500 y 300 metros de altura sobre el nivel del mar y su conjunto tiene la forma de un cuarto creciente, cuya concavidad mira hacia el norte y hacia oriente. Esta es la región conocida como Plan de Tierra Caliente, pues su regularidad es interrumpida solamente por cerros y conos volcánicos de poca altura.

El Municipio de Francisco J. Múgica tiene una extensión territorial de 655 km.<sup>2</sup> y presenta como límites: al Norte el Municipio de Gabriel Zamora (llamado también Lombardía), al Sur y al Este limita con el Municipio de la Huacana y al Oeste con el de Parácuaro. Nueva Italia cabecera del Municipio de Múgica, tiene una extensión de 35 mil hectáreas, de las cuales tres cuartas partes son de terreno plano, muy rico, superior al de Lombardía. Tiene 15 km de ancho por 24 de largo de Norte a Sur. Por el poniente colinda con unas llanuras igualmente extensas y fértiles, continuación del mismo llano de Antúnez.

La población de Nueva Italia se ubica a los 19° 01' 00" de latitud Norte y a los 112° 06' 00" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Y a una altura sobre el nivel del mar de 420 metros.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **4.2 RECURSOS NATURALES**

### **4.2.1 Recursos hidráulicos existentes**

En la región que hoy nos ocupa se encuentran ríos de gran caudal como es el río Grande o Tepalcatepec, otro es el río Marqués que nace en la barranca de la Rodilla del diablo, localizada al Oeste de la ciudad de Uruapan. En el lugar donde nace éste río se le llama Cupatitzio corriendo de Norte a Sur, atraviesa terrenos de Uruapan, Apatzingán, Amatlán y los Bancos ya con el nombre de El Marqués,

pero siendo su mayor caudal el que proviene del Cupatitzio. En su curso hacia el sur, el Marqués recibe importantes afluentes: el primero es el río de Santa Catarina que nace cerca de Uruapan en el manantial de la Presa, el segundo es el río de la Paróta o Santa Casilda que nace en el Municipio de Tinganbato y que es alimentado por los arroyos de la Concha, Ziraspén, Chupungeo y Zirimícuaro y por dos ríos más: El cajones que recibe agua del Tahuejo y Taretan y el río Tierras Coloradas, mismo que aumenta su caudal con las de Tomendán y la del Tipítaro que baja de la sierra de Ario de Rosales. El río Marqués recibe además otros afluentes tributarios como son los arroyos de barranca de Andanguio, Uspero y el Arenal. Todos estos ríos corren de Norte a Sur hacia la Tierra Caliente.

#### **4.2.2 Suelo**

Las características principales del suelo de Nueva Italia son: Un color gris oscuro, arcilloso, agrietado y pedregoso conformado en capas de origen magmático denominadas "tepetate". Los lechos geológicos del Plan de Tierra Caliente muestran como manto basal una capa de granitos y latitas sobre las que se asientan monzonitas cuarcíferas y granodioritas.

#### **4.3 CLIMA**

Generalmente es cálido y en algunas ocasiones es ligeramente húmedo en la temporada de lluvias, por el general está considerado como del tipo seco estepario. La precipitación media anual es de 925 mm, siendo el periodo lluvioso de junio a octubre, representando el 87.2% de la lluvia total; con un periodo de estiaje de noviembre hasta mayo, cuya precipitación es de alrededor del 18.8%. La evaporación media anual es del orden de los 2,350 mm registrándose la máxima en los meses de Marzo a Junio. La temperatura media baja del mes más frío ocurre en enero, 23.3° C con una variación anual ligera que presenta una diferencia entre las medias más altas y las mas bajas de solo 6.3° C aún que hay ocasiones en que llega a subir a los 42° C aproximadamente.

Los vientos dominantes son del sudoeste, pero localmente durante las horas de la tarde y primeras de la noche soplan suaves vientos terrenales del Noroeste que, con otros factores son responsables del abatimiento de la temperatura durante las horas de la madrugada.

De acuerdo a la climatología se tiene que la evaporación es superior a la precipitación, lo cual ocasiona deficiencias de agua durante todo el año, manifestándose una marcada influencia en los meses de marzo a mayo.

#### **4.4 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS**

#### 4.4.1 Población

De acuerdo a los censos realizados por la federación, la población estimada en la población de Nueva Italia Michoacán se presenta en la siguiente tabla:

**TABLA 4.1 POBLACIÓN HISTORICA CENSADA**

<b>AÑO</b>	<b>NÚMERO DE HABITANTES</b>
1970	14, 718 HAB.
1980	21, 239 HAB.
1990	27, 008 HAB.
2000	30, 508 HAB.

FUENTE: INEGI

#### 4.4.2 Dinámica del crecimiento urbano-industrial y agrícola

La configuración urbana de Nueva Italia se caracteriza por tener zonas con accidentes topográficos, debido a que está ubicada a un costado del cerro de la cruz, por lo que esto origina que haya zonas con laderas, barranquillas, lomas, depresiones, cauces, arroyos, etc., que propician que la población presente algunas dificultades para un buen suministro de servicios como el agua potable y alcantarillado. La introducción de éstos se vuelve crítica en las colonias más marginadas que se sitúan en las zonas altas o prácticamente en laderas de barrancas.

La expansión de la población tiende a urbanizar terrenos en los que se desarrolla la agricultura, además se ha poblado irregularmente parte de los alrededores de la población.

Es difícil pronosticar la zona de expansión de la ciudad, sin embargo, la construcción de la autopista con entronque ubicado al sur de la ciudad a provocado que los asentamientos urbanos se intensifiquen con respecto a esa dirección. Por lo tanto el desarrollo planificado, se extiende hacia el cruce de Cuatro Caminos, punto intermedio entre Nueva Italia y el entronque de la autopista.

Los principales recursos económicos de la región son: la agricultura, la ganadería y pequeñas empresas de comercialización de bienes y servicios.

Sin embargo la principal y más importante actividad económica que se desempeña en la zona es, sin duda, es la actividad agrícola. La agricultura se basa principalmente en los siguientes cultivos:

Mango, Toronja, limón, Papaya, Arroz, Pepino, Sorgo, Camote, ajonjolí, Melón, Sandía, Ajonjolí, maíz, Jitomate

por su parte la ganadería se clasifica en:

Bovinos, Porcinos, Equinos, Ovinos

Por otra parte el sistema actual de distribución de agua potable opera con una gran problemática dado en gran parte a la escasez de éste valioso recurso en la zona y acentuado por el crecimiento poblacional de la región.

La población no tiene un sistema de alcantarillado planificado, es decir, las aguas negras se vierten y transportan por medio de canales y arroyos naturales, que con el transcurso del tiempo se han adaptado en una forma rústica basándose en tramos parciales de bóvedas y puentes, sin embargo, gran parte de los arroyos y canales se encuentran actualmente a cielo abierto, lo que ocasiona muchas molestias a los habitantes colindantes a estos, como el mal olor y una desagradable presentación. Estos problemas se agravan en temporada de lluvias debido a que en muchas zonas se desbordan estos cauces invadiendo las viviendas de los usuarios. Por lo tanto es necesario crear, analizar y realizar el proyecto de colectores y emisores que son parte de la infraestructura encargada de recoger las aguas residuales, una vez captadas es preciso conducir las a la planta de tratamiento para su acondicionamiento y disposición final.

#### **4.5 TRABAJOS PRELIMINARES DE CAMPO**

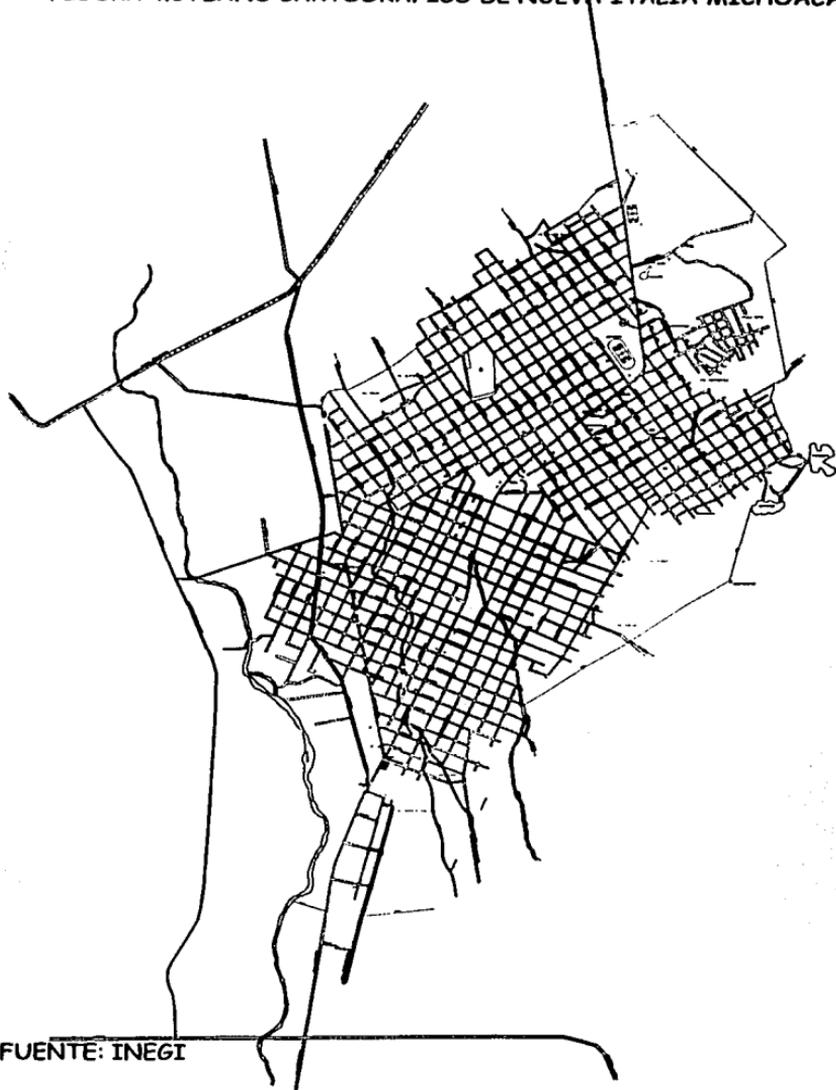
##### **4.5.1 Localización y descripción de fuentes de contaminación y cuerpos receptores**

Como ya se menciona, la población de Nueva Italia se ubica en una zona topográfica conformada de laderas y tierras brevemente inclinadas, contando además con cauces naturales (arroyos y canales), los cuales, atraviesan la

población, recibiendo estos las descargas de aguas residuales causando un primer impacto nocivo en las corrientes que las reciben. La ubicación y recorrido de estos cauces se pueden observar en el plano cartográfico anexo, figura 4.1, como se observa realizan su recorrido de norte a sur. Básicamente los principales afluentes son los arroyos: El cahulote, el ciruelo y el Zavala. Estos arroyos nacen y se forman en la parte norte de la población a partir de los excedentes de las aguas utilizadas para riego agrícola y las aportaciones de aguas residuales que reciben en su recorrido. El tipo de contaminación que afecta a estos arroyos es propiciado principalmente por el vertido de aguas residuales de origen doméstico y desperdicios caseros.

Es de importancia hacer notar que estas aguas contaminadas son utilizadas como aguas para el riego agrícola, sin recibir ningún tipo de tratamiento más que el recibido por la autodepuración natural ya comentada anteriormente, el que sin embargo, no es suficiente debido a la sobrecarga de aguas negras. Lo que da como resultado que los agricultores estén utilizando aguas con características no aptas para el uso agrícola. A continuación se anexa el plano cartográfico de Nueva Italia (figura 4.0), en donde se describe la ubicación y recorrido de los canales en cuestión, así como fotografías de los mismos:

FIGURA 4.0 PLANO CARTOGRÁFICO DE NUEVA ITALIA MICHOACÁN



FUENTE: INEGI

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 4.1 CANAL CONTAMINADO A CIELO ABIERTO



FUENTE:FOTOGRAFÍA DEL AUTOR

FIGURA 4.2 CANAL CON DESCARGA DE DRENAJES



FUENTE:FOTOGRAFÍA DEL AUTOR

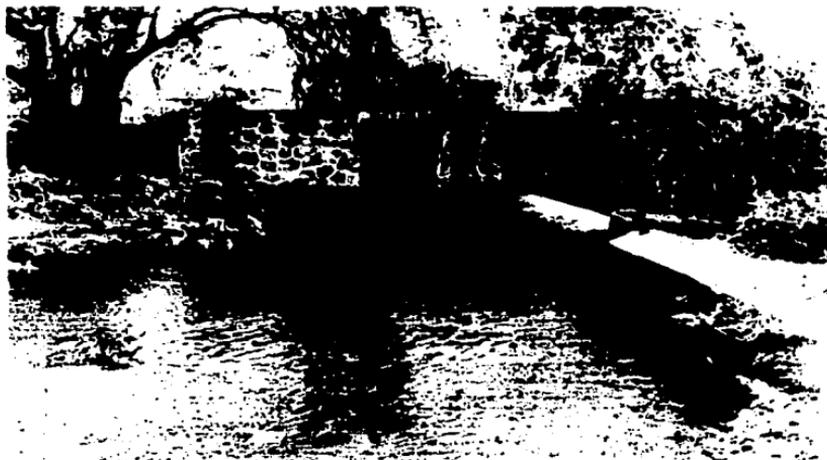
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**FIGURA 4.3 CUERPO RECEPTOR DE LOS CANALES  
CONTAMINADOS**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA DEL AUTOR**

**FIGURA 4.4 AGUAS CONTAMINADAS DESTINADAS AL RIEGO  
AGRÍCOLA**



**FUENTE: FOTOGRAFÍA DEL AUTOR**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

#### **4.5.2 Delimitación del área de estudio**

El área de estudio comprende las zonas en que la planta de tratamiento de aguas residuales tiene influencia y básicamente son: La mancha urbana y su límite de crecimiento, los sitios para la posible ubicación de la planta y la zona que puede ser beneficiada con las aguas tratadas.

Para proponer la posible ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales se consideró la zona sudeste de Nueva Italia por ser la zona hacia donde convergen los canales en cuestión. En ésta parte existen terrenos de cultivo, sin embargo, es una zona en donde gran parte de los terrenos no cuentan con agua de riego, además, de que hay espacio suficiente para la construcción de la planta, por lo que la disposición y adquisición de terreno es muy factible de llevar a cabo para la instalación del sistema.

Actualmente muchas lagunas no funcionan por razones de alta permeabilidad, por las aguas que se infiltran al subsuelo, por lo tanto, es indispensable hacer un estudio de mecánica de suelo. Antes de tomar la decisión de comprar uno de los lugares elegidos, primero debe caracterizarse y clasificarse el suelo de cada uno de ellos con la finalidad de estimar su compresibilidad, permeabilidad, tenacidad y capacidad de carga, esto permitirá seleccionar la mejor adquisición.

Las zonas beneficiadas con las aguas tratadas generalmente son áreas de cultivo en donde se forman distritos de riego o se refuerzan los ya existentes; en el caso de Nueva Italia donde el agua de riego es un recurso escaso, sería muy benigno la construcción de la planta, ya que obtendríamos un efluente con las características adecuadas para su reuso agrícola.

#### **4.6 APROVECHAMIENTO ACTUAL Y POTENCIAL DE LAS AGUAS**

##### **RESIDUALES**

Durante el crecimiento y desarrollo de Nueva Italia, de sus localidades urbanas, sus servicios en general se inician con un precario abastecimiento de agua potable y van satisfaciendo sus necesidades con base a obras escalonadas en bien de su economía. Como consecuencia se presenta el problema del desalojo de las aguas servidas o aguas residuales. Se requiere así la construcción de un sistema de alcantarillado sanitario para eliminar las aguas negras que produce una población, incluyendo al comercio y a la industria.

El destino final de las aguas servidas podrá ser, previo tratamiento, desde un cuerpo receptor hasta el reuso, dependiendo del tratamiento que se realice y de las condiciones particulares de la zona de estudio.

##### **4.6.1 Aprovechamiento actual**

Actualmente los canales y arroyos de aguas contaminadas, se desplazan, por zonas agrícolas y debido a la escasez del recurso hidráulico en las mismas, hace que sea muy tentativo para los agricultores, el usar éste tipo de aguas no aptas para regar los cultivos. Cabe mencionar que las aguas ya van con un cierto grado de tratamiento debido a la autodepuración natural, que obtienen durante su recorrido, sin embargo, es necesario establecer un control adecuado en la revisión y análisis de los parámetros o límites máximos permisibles de contaminantes que establecen las normas mexicanas.

#### **4.6.2 Aprovechamiento potencial**

La principal aplicación de las aguas residuales tratadas provenientes de las lagunas de estabilización que se proponen, es su reutilización en diferentes ramas. El uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura constituye una de las herramientas más valiosas para controlar la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso. Las lagunas de estabilización facilitan, de una manera económica, el cumplimiento de las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el uso sanitario de aguas residuales en agricultura y acuicultura.

Los principios básicos para el uso de aguas residuales en el riego agrícola son: protección de la salud humana; control bacteriológico; control de sustancias

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

persistentes y tóxicas que podrían penetrar en la cadena alimenticia, al agua subterránea o acumularse en el suelo contaminándolo; evitar la colmatación del suelo, la salificación y la sobresaturación con sustancias orgánicas y biogénicas. Para autorizar el reúso de agua residual en agricultura, debe cumplirse principalmente con una calidad microbiología tal que, el número más probable de coliformes fecales por cada 100 ml no exceda de 1000 y no exista más de un huevo de helminto viable por litro. Este requisito de calidad microbiológica, puede satisfacerse con un tratamiento mediante lagunas de estabilización sin tener que desinfectar el efluente.

En el caso del reúso acuícola, los valores guía propuestos por la OMS, establecen un máximo de 1000 coliformes fecales por cada 100 ml y la ausencia de huevos de helmintos y que el contenido de nitrógeno amoniacal no ionizado no exceda de 0.5 mg/l. Técnicamente estos valores pueden cumplirse en las lagunas de maduración, aun así, es aconsejable que los peces ahí cultivados sean transferidos por varias semanas a otro estanque de agua limpia para garantizar su calidad microbiológica.

#### 4.7 PROPUESTA

Dado que la situación de la ciudad de Nueva Italia es precaria, respecto a la poca disponibilidad del agua, ya que existe un déficit respecto al consumo de agua

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

destinado al riego agrícola, además de que se utilizan las aguas residuales de la localidad, sin la aplicación de ningún tipo de tratamiento previo, que permita obtener un caudal con las características adecuadas para su aplicación en la agricultura, por tal motivo y viendo las necesidades de obtener aguas de buena calidad para la producción agrícola se ha tomado como medida base proponer la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Nueva Italia en el estado de Michoacán.

## **CAPITULO 5**

### **DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA POBLACIÓN DE NUEVA ITALIA MICHOACÁN**

#### **5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se requiere diseñar un sistema de tratamiento para la ciudad de Nueva Italia Michoacán, para los próximos veinte años. El efluente debe cumplir con las normas de descarga a un cuerpo receptor que se usará para riego.

#### **5.2 INFORMACIÓN REQUERIDA**

##### **5.2.1 Datos de diseño**

##### **5.2.1.1 Número de habitantes**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Con el objeto de que la planta cumpla con la vida útil establecida, se calcula el crecimiento de la población para los próximos veinte años. para ello se empleo el método aritmético, que consiste en encontrar el crecimiento anual de la población en habitantes y éste crecimiento proyectarlo mediante la siguiente formula:

$$P_f = P_a + (P_{ap} \cdot n) \quad \text{Ecuación (5.1)}$$

Donde:

$P_f$  = Población futura

$P_a$  = Población actual

$P_{ap}$  = Población anual promedio

$n$  = Periodo de interés

De acuerdo a la tabla 5.1

**TABLA 5.1 POBLACIÓN HISTORICA CENSADA**

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN DE NUEVA ITALIA</b>
1970	14, 718 hab.
1980	21, 239 hab.
1990	27, 008 hab.
2000	30, 508 hab.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

DATOS:

$P_a$  =30,508 hab.

$n$  = 20 Años

$$P_{ap} = \frac{(30508 - 14718)}{30} ;$$

$$P_{ap} = 526.33$$

Aplicando la ecuación (5.1)

$$P_f = 30508 + (526.33)(20)$$

Población futura = 41,034 Habitantes

Por lo tanto, la planta de tratamiento se debe diseñar para una población de 41,034 habitantes.

#### 5.2.1.2 Cálculo del agua por tratar

Tomando en cuenta que la dotación de agua para la población es de 200 L/hab/día y que de ello se capta el 75%, que según la Comisión Nacional del Agua (CNA), es una estimación considerable, el gasto por tratar para la población proyectada se muestra en la tabla 5.2

TABLA 5.2 GASTO A TRATAR PARA LA POBLACIÓN ESTIMADA						
AÑO	FECHA	N° HAB.	DOTACIÓN		APORTACIÓN	
			Q(L/s)	Q (M <sup>3</sup> /S)	Q(L/s)	Q (M <sup>3</sup> /S)
0	2000	30,508	70.62	0.070	52.96	0.053
1	2010	35,771	82.80	0.082	62.10	0.062
2	2020	41,034	94.98	0.094	71.23	0.071

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De ésta manera, el gasto de diseño (F med.), resulta de 71 L/s. Para establecer el gasto máximo se emplea, según la (CNA), un factor pico de 2.45, por lo que el caudal máximo (F max.), a tratar será de:

$$F_{\max} = (2.45)(71) = 173.95$$

$$F_{\max} = 174 \text{ L/s}$$

### 5.2.1.3 Calidad del agua

En la tabla 5.3 se muestra la calidad típica del agua residual doméstica. En comparación con ella el agua del ejemplo resulta similar con una concentración de sólidos sedimentables inferior. Adicionalmente, se pudo comprobar que la concentración de metales es tal que no habrá inhibición del proceso biológico y que la relación DQO: N:P de 100:5A necesaria para procesos biológicos se cumple. Se puede observar, además que la relación entre la DQO y la DBO es del orden de 1.5, lo que indica que se trata de un agua típicamente doméstica y biodegradable.

**TABLA 5.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL**

PARÁMETROS	UNIDAD	AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL TÍPICA DE FUERZA MEDIA
PH	PS/CM	7.28	
Conductividad	Mg/l	1,167	
DBO <sub>5</sub>	Mg/l	254	220
DBO total	Mg/l	300	
DQO total	Mg/l	450	500

ST	Mg/l		720
SDT	Mg/l		
SST	Mg/l	208	300
Sólidos Sedimentables	Mg/l	10	10
Nitrógeno total	Mg/l	35	40
Fósforo total	Mg/l	9	8
Aluminio	Mg/l	1.91	
Arsénico	Mg/l	0.0005	
Boro	Mg/l	0.670	
Cadmio	Mg/l	< 0.01	< 0.02
Cianuros	Mg/l	0.008	
Cobre	Mg/l	0.063	0.10
Cromo total	Mg/l	0.001	< 0.05
Hierro	Mg/l	3.74	
Fluoruro	Mg/l	0.365	
Manganeso	Mg/l	1.300	
Níquel	Mg/l	0.036	< 0.10
Plomo	Mg/l	0.093	< 0.02
Selenio	Mg/l	< 0.1	
Zinc	Mg/l	0.133	0.12
Coliformes fecales	npm/100 ml	1.82 E+07	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>
Huevos de Helminfos	H/L	600	

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 170

A partir de datos del INEGI se obtiene la siguiente información para la población en estudio:

Evaporación media anual	2,350 mm
Precipitación media anual	925 mm
Temperatura del mes más frío	23.3 °C

FUENTE: INEGI

## 5.2.2 Restricciones al diseño

### 5.2.2.1 Factibilidad técnica

Se dispone de terreno suficiente; sin embargo, éste tiene un valor productivo considerable como área agrícola por lo que se propone analizar la siguiente opción de sistemas de lagunas para determinar los requerimientos de área. Además, se desea recuperar el agua para riego de la zona.

#### **5.2.2.2 Localización**

La localización del sistema lagunar, se aprecia en el plano topográfico anexo, (figura 5.1)

#### **5.2.2.3 Esquema de construcción**

Debido a la situación financiera del país, no es conveniente obligar a la población al pago de infraestructura ociosa, por lo que se recomienda se diseñe el sistema para la población estimada en el año 2020, pero que la construcción sea por módulos.

Para el esquema de construcción de la planta de tratamiento se considera la siguiente opción: 4 módulos de 18 L/s, se construirán tres módulos iniciales para tener flexibilidad de operación y el restante cuando se requiera alcanzar la capacidad del proyecto, a los 20 años.

En resumen, se construirán cuatro módulos de 18 L/s y con una capacidad total de 72 L/s.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



#### 5.2.2.4 Legislación

La calidad de agua que se debe obtener es función de la legislación vigente, para ello se aplica la NOM-CCA-032-ECOL/1993 y la NOM-CCA-033-ECOL/1993 por lo que se hará una comparación con ellas.

**NOM-CCA-032-ECOL/1993.** - Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su, disposición mediante riego agrícola. La tabla 5.4 muestra dichos parámetros y los compara con los del ejemplo.

**TABLA 5.4 COMPARACIÓN ENTRE EL AGUA RESIDUAL POR TRATAR Y LA NORMA PARA DISPOSICIÓN MEDIANTE RIEGO**

PARÁMETRO	UNIDAD	NOM-CCA-032- ECOL/1993	AGUA RESIDUAL (ejemplo)
Ph		6.5 8.5	7.28
Conductividad	$\mu S/cm$	2,000	1,167
DBO <sub>T</sub>	mg/l	120	254 *
SST	mg/l	120	208*
Aluminio	mg/l	5.0	1.91
Arsénico	mg/l	0.1	0.0005
Boro	mg/l	1.5	0.670
Cadmio	mg/l	0.01	< 0.01
Cianuros	mg/l	0.02	0.008
Cobre	mg/l	0.2	0.063
Cromo total	mg/l	0.1	0.001
Hierro	mg/l	5.0	3.74
Fluoruro	mg/l	3.0	0.365
Manganeso	mg/l	0.2	0.130
Níquel	mg/l	0.2	0.036
Plomo	mg/l	5.0	0.093

Selenio	mg/l	0.02	< 0.1
Zinc	mg/l	2.0	0.133

\* Valores que exceden la norma

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 98

Para cumplir ésta norma solo se requiere eliminar la DBO en 52% y los SST en 42%. La presencia de metales no implica ningún problema de inhibición del sistema biológico ya que se encuentra entre los límites establecidos por la normatividad.

**NOM-CCA-033-ECOL/1993.** - Con respecto a ésta norma se elige la situación más drástica con el objeto de encontrar las condiciones bacteriológicas para emplear el agua residual tratada para riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, que son los de mayor rendimiento económico. La tabla 5.5 muestra ésta comparación.

**TABLA 5.5 AGUA TIPO 2 PARA CONTROL DE RIEGO AGRÍCOLA**

PARÁMETRO	UNIDAD	NOM-CCA-032- ECOL/1993	AGUA RESIDUAL (ejemplo)
Coliformes fecales	NPM/100mi	< 1,000	1.82E+07
Huevos de helmintos	H/L	< 1	600

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1996: 99

De ésta tabla se infiere que las eficiencias requeridas son de 99.995% para coliformes fecales y de 99.83% para huevos de helmintos.

En conclusión de ésta norma, el agua debe ser tratada con fines de desinfección (remoción de coliformes fecales y de huevos de helmintos) físicamente ya que no hay interferencia por metales, materia orgánica o sólidos.

### **5.3 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA**

Se propone analizar el tren de proceso con un sistema de pretratamiento consistente en rejillas, y un desarenador con control de velocidad. Y respecto al sistema de lagunas, se considera la siguiente opción:

Laguna facultativa + laguna de pulimento

#### **5.3.1 Dimensionamiento del sistema de pretratamiento**

El pretratamiento consiste en un sistema de rejillas gruesas y un desarenador de control de velocidad con dos canales.

##### **5.3.1.1 Canal de entrada y rejillas**

Velocidad requerida en el canal de entrada:

60 cm/seg. Para flujo medio

90 cm/seg. Para flujo máximo

Donde:

$F_{med} = 72 \text{ L/seg.}$

$F_{max} = 174 \text{ L/seg.}$

$$F_{med} = 72 \frac{L}{seg} \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) = 0.072 \frac{m^3}{seg}$$

$$F_{max} = 174 \frac{L}{seg} \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) = 0.174 \frac{m^3}{seg}$$

Con la ecuación (3.1) se calcula el área efectiva del canal:

$$\text{Área media} = \frac{0.072 \frac{m^3}{seg}}{0.60 \frac{m}{seg}} = 0.12m^2$$

$$\text{Área máxima} = \frac{0.174 \frac{m^3}{seg}}{0.90 \frac{m}{seg}} = 0.193m^2$$

Por lo tanto el área del canal es de  $0.193 m^2$

El ancho del canal se propone de 1.0 m y las barras y las barras no excederán los 2 m por lo que según la tabla 3.4 las dimensiones de las barras serán de 0.80 cm de espesor y 5.0 cm de ancho.

Debido a que la limpieza de las rejillas se llevará a cabo manualmente, se propone un espacio entre barras de 2.50 cm.

La eficiencia de las rejillas es de un 77% por lo que según la ecuación 3.2:

$$\text{Área húmeda} = \frac{0.193m^2}{0.77} = 0.25m^2$$

$$\text{Área húmeda} = 0.25m^2$$

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Profundidad máxima aproximada del flujo:

$$A = B \cdot H$$

$$H = \frac{A}{B}$$

$$H = \frac{0.25\text{m}^2}{1\text{m}} = 0.25\text{m}$$

$$H = 0.25 \text{ m}$$

Las rejillas se usaran de tipo de barras construidas en acero galvanizado y cubiertas con pintura epóxica.

La cantidad de material cribado según la tabla 3.2 para aberturas de 2.5 cm es de  $22 \times 10^{-6} \text{m}^3 / \text{m}^3$  de flujo, por lo tanto para caudales futuros promedios la cantidad será de:

$$\left( 15033.6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \left( 22 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \right) = 0.330 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

La cantidad estimada de material cribado es de  $0.330 \text{ m}^3/\text{día}$ , el cual se dispondrá en el relleno sanitario de la ciudad.

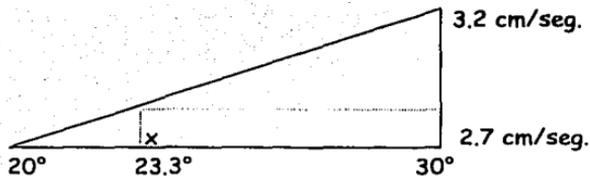
### 5.3.1.2 Desarenador

Tirante hidráulico = 0.25 m

Se recomienda usar una profundidad extra de 10 cm por acumulación de arenas.

La temperatura media baja es de  $23.3^\circ \text{C}$  por lo que la velocidad de sedimentación se obtiene, luego de interpolar entre los valores obtenidos en la tabla (3.5)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$$\frac{(3.2 \text{ cm/seg} - 2.7 \text{ cm/seg})}{10^\circ} = \frac{x}{3.3^\circ} \quad x = 0.165 \text{ cm/seg.}$$

Por lo tanto para los  $23.3^\circ$  la velocidad de sedimentación es:

$$2.7 \text{ cm/seg.} + 0.165 \text{ cm/seg.} = 2.865 \text{ cm/seg.}$$

$$v = 0.02865 \text{ m/seg.}$$

La velocidad del flujo de la cámara desarenadora deberá ser de  $30 \text{ cm/seg.} \pm 25\%$

Para obtener la longitud de la cámara desarenadora recurriremos a la ecuación (3.3):

$$L = \frac{0.25 \text{ m}}{0.02865 \text{ m/seg.}} \left( 0.30 \frac{\text{m}}{\text{seg.}} \right) (1.25) = 3.27 \text{ m}$$

$$L = 3.30 \text{ m}$$

$$L \text{ total} = 3.30 \text{ m} + 40\% (\text{tubulencia } s)$$

por lo que la longitud total será:

$$L \text{ total} = 3.30 \text{ m} (1.40) = 4.62 \text{ m}$$

$$L \text{ total} = 4.70 \text{ m}$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Volumen de almacenamiento de arenas:

0.006 m<sup>3</sup> por cada 1000 m<sup>3</sup> de gasto, se considera que la arena se extraerá cada

2 días:

$$\text{Volumen} = (2 \text{ días})(0.06 \text{ m}^3) \left( \frac{15033.6 \text{ m}^3 / \text{ día}}{1000 \text{ m}^3} \right) = 1.80 \text{ m}^3$$

Volumen = ancho x H x largo

$$H = \frac{\text{Volumen}}{(\text{ancho})(\text{largo})}$$

Sustituyendo:

$$H = \frac{1.80 \text{ m}^3}{(1.00 \text{ m})(4.70 \text{ m})} = 0.38 \text{ m}$$

$$H = 0.38 \text{ m}$$

En resumen las dimensiones de la cámara desarenadora son las siguientes:

Ancho = 1.00 m

Largo = 4.70 m

Altura antes de las rejillas = 0.25 m + 0.25 m = 0.50 m

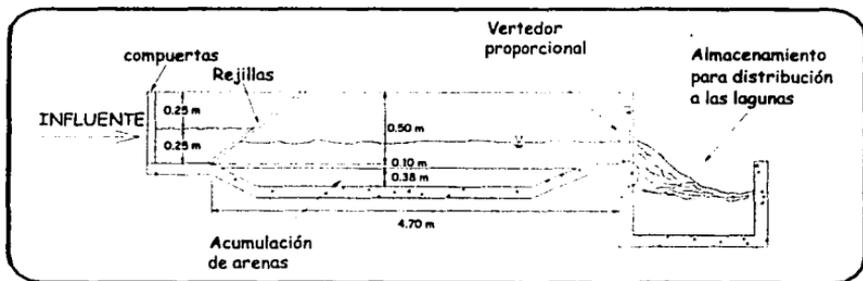
Altura después de las rejillas = 0.25 m + 0.25 m + 0.38 m + 0.10 m = 0.98 m

Altura después de las rejillas = 1.00 m

Se construirán dos canales en la cámara desarenadora y en paralelo con la capacidad de pasar el gasto máximo cada uno, para tener uno de reserva mientras el otro trabaja.

La producción de arena es de  $1.80 \text{ m}^3$  cada dos días y se dispondrá en el relleno sanitario de la ciudad.

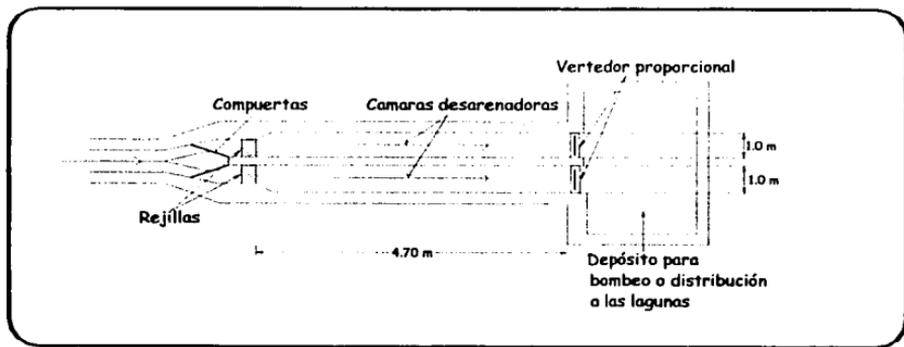
**FIGURA 5.2 DIMENSIONES DE LA CÁMARA DESARENADORA (CORTE)**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

FIGURA 5.3 DIMENSIONES DE LA CÁMARA DESARENADORA (PLANTA)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 5.3.1.3 Vertedor proporcional

Para mantener una velocidad aproximada de 30 cm/seg.  $\pm 25\%$  como se recomienda para las cámaras desarenadoras, es necesario el uso de un vertedor proporcional para controlar el rango total de flujos.

De la ecuación (3.4)

$$b = \frac{F}{\sqrt{2}ag} \left( h + \frac{2}{3} a \right)$$

y de:

$$h = H - \frac{2}{3} a \quad \text{Donde: "a" se propone de 0.03m por lo que sustituyendo:}$$

$$h = 0.25m - \frac{2}{3} (0.03m)$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

$$h = 0.23\text{m}$$

$$b = \frac{0.174}{2} (2)(0.03\text{m}) \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \right) \left( 0.23\text{m} + \frac{2}{3} (0.03\text{m}) \right)$$

$$b = 0.45\text{m}$$

La curvatura del vertedor la obtendremos con la ecuación (3.6):

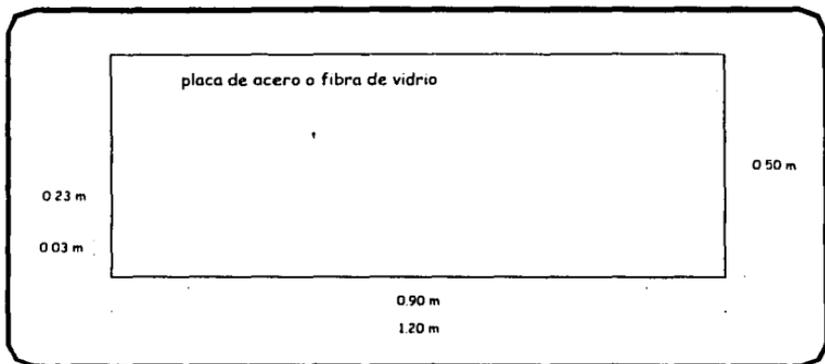
$$X = b \left( 1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{Y}{a} \right)$$

Y (cm)	X (cm)
0.0	45.00
0.2	43.09
0.4	41.20
0.8	37.53
1.0	35.78
2.0	28.15
5.0	15.48
8.0	10.27
10.0	8.34
12.0	7.01
14.0	6.04
16.0	5.30
18.0	4.73
20.0	4.20
23.0	3.71

En conclusión, el diseño final del vertedor proporcional consistirá en una placa de acero o fibra de vidrio donde se hará la escotadura que resulto del cálculo anterior.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**FIGURA 5.4 . - DIMENSIONES DEL VERTEDOR PROPORCIONAL**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 5.3.2 Datos físicos para el diseño de las lagunas

La tabla 5.6 resume los datos de diseño establecidos en las secciones anteriores para facilitar su manejo.

**TABLA 5.6 DATOS DE DISEÑO PARA LOS SISTEMAS LAGUNARES**

PARÁMETROS	VALORES CALCULADOS
Número de módulos	4
Gasto del Módulo, Q	18 L/s (1555.2 m <sup>3</sup> /d)
Concentración de DBO, Si	254 mg/L (254 g/m <sup>3</sup> )
Concentración de SST, Xv	208 mg/L (208 g/m <sup>3</sup> )
Coliformes fecales	1.82 E+07 NMP/100 ml
Huevos de helminto	600 H/L
Evaporación anual	2,350 mm
Precipitación anual	925 mm
Temperatura del mes más frío	23.3 °C

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 5.4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO

### EMPLEANDO EL MÉTODO DE YAÑEZ

#### A) laguna facultativa, Opción 1

La carga de diseño está dada por, la ecuación:

$$C_s = 250 (1.085)^{T-20}$$

$$C_s = 250 (1.085)^{233-20} = 327.23$$

$$C_s = 327.23 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{ha} \cdot \text{d}}$$

Para estimar la carga removida de las lagunas se emplean correlaciones para lagunas facultativas primarias.

$$C_r = 0.8063 C_s + 7.67$$

$$C_r = 0.8063 (327.23) + 7.67 = 263.84$$

$$C_r = 263.84 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{ha} \cdot \text{d}}$$

El área de la laguna se obtiene con la ecuación:

$$A = \frac{S_1 \cdot Q}{C_s (1000)}$$

$$A = \frac{(254)(1555.2)}{(327.23)(1000)} = 1.20$$

$$A = 1.20 \text{ ha}$$

Se considera una profundidad para la laguna facultativa de 2 m, por lo que el volumen de la laguna será:

$$V = A \cdot h$$

$$V = (12\ 000) (2) = 24\ 000\ \text{m}^3$$

Y con una relación largo/ancho de 5, se tiene

$$\frac{L}{w} = 5$$

$$A = 5w^2 \quad \text{por lo que:} \quad w = \frac{A}{5}$$

$$w = \frac{12000}{5} = 48.98$$

$$w = 49\ \text{m}$$

$$\text{Por lo tanto: } L = 5 (49.0) = 245$$

$$L = 245\ \text{m}$$

El tiempo de retención,  $t$ , se calcula a partir de la tasa de evaporación neta,  $(e)$ , la cual, se calcula con la fórmula:

$$e = \frac{\text{Evaporación anual} - \text{Precipitación anual}}{365\ \text{días}}$$

$$e = \frac{2350 - 925}{365} = 3.90$$

$$e = 3.90\ \text{mm/d}$$

Por lo que:

$$t = \frac{2Ah}{2Q - 0.001Ae}$$

$$t = \frac{2(12\,000)(2)}{2(1555.20) - 0.001(12\,000)(3.90)} = 15.67$$

$$t = 15.67 \text{ días}$$

Remoción de coliformes fecales:

El método de Yañez toma en cuenta la forma de la laguna, como en éste caso las lagunas son alargadas, el diseño resultará en lagunas más pequeñas, la constante de remoción de coliformes fecales  $K_{cf}$ , se calcula con la siguiente expresión:

$$K_{cf} = 0.841(1.07)^{T-20}$$

$$K_{cf} = 0.841(1.07)^{23.3-20} = 1.05$$

$$K_{cf} = 1.05$$

El coeficiente de dispersión hidráulica se determina considerando la relación largo/ancho igual a 5 en éste caso, con la ecuación siguiente:

$$d = -0.26118 + 0.25392X + 1.01460X^2$$

$$d = -0.26118 + 0.25392(5) + 1.01460(5)^2$$

$$d = 0.19$$

Este valor se sustituye en la ecuación que se describe a continuación para obtener el coeficiente (a).

$$a = 1 + 4 K_{cf} \tau d$$

$$a = 1 + 4 (1.05) (15.67) (0.19)$$

$$a = 3.67$$

Sustituyendo valores para obtener la remoción de coliformes fecales en la laguna facultativa, en la siguiente ecuación se obtiene:

$$CF_e = \frac{CF_i 4 a e^{\left(\frac{1}{2d}\right)}}{(1 + a)^2 e^{\left(\frac{a}{2d}\right)} - (1 - a)^2 e^{\left(-\frac{a}{2d}\right)}}$$

sustituyendo los valores:

$$CF_e = \frac{(1.82 \text{ E} + 07)(4)(3.67) e^{\left(\frac{1}{2(0.19)}\right)}}{(1 + 3.67)^2 e^{\left(\frac{3.67}{2(0.19)}\right)} - (1 - 3.67)^2 e^{\left(-\frac{3.67}{2(0.19)}\right)}}$$

$$CF_e = 10,881 \text{ NMP/100ml}$$

Condiciones del efluente:

Finalmente se evalúa la DBO soluble y total en el efluente, así como los sólidos y los coliformes fecales a la salida de la laguna:

Con la formula siguiente se determina la carga orgánica superficial soluble en el efluente de la laguna:

$$S_{es} = \frac{1000 (C_s - C_r) A}{Q}$$

$$S_{es} = \frac{1000 (327.23 - 263.84) 1.20}{1555.20}$$

$$S_{es} = 48.91 \text{ mg DBO/L}$$

Para determinar la carga orgánica superficial remanente se utiliza la formula:

$$S_{er} = 2 (S_{es})$$

$$S_{er} = 2 (48.91)$$

$$S_{er} = 97.82 \text{ mg DBO/L}$$

Para obtener los Sólidos Sedimentables Totales (SST) en efluentes de lagunas facultativas la CNA propone el 65% de la carga orgánica superficial remanente.

$$SST = 65\% (S_{er})$$

Por lo que:

$$SST = 0.65(97.82)$$

$$SST = 63.58 \text{ mg/L}$$

La tabla 5.7 muestra el resumen de los parámetros más importantes calculados para el diseño de la laguna facultativa.

**TABLA 5.7 DISEÑO DE LA LAGUNA FACULTATIVA CON EL MÉTODO DE YAÑEZ**

PARÁMETROS	VALORES CALCULADOS
Carga orgánica superficial, $C_s$	327.23 kg DBO/ha.d
Carga removida en la laguna, $C_{sr}$	263.84 kg DBO/ha.d
Tiempo de retención, $t$	15.67 días
Area de la laguna, $A$	1.20 ha.
Profundidad media, $h$	2.0 m
Volumen de la laguna, $V$	24,000 m <sup>3</sup>
Ancho, $w$	49.0 m
Largo, $L$	245.0 m
Relación largo/ancho, $X$	5
Carga orgánica superficial soluble, $S_{es}$	48.91 mg DBO/L
Carga orgánica superficial remanente, $S_{er}$	97.82 mg DBO/L
Sólidos suspendidos totales, $SST$	63.58 mg/L
Coliformes fecales, $C_{fe}$	10,881 NMP/100ml
Tasa de evaporación neta, $e$	3.90 mm/día
Tiempo de retención, $t$	15.67 días

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### A) Laguna de pulimento

Para la laguna de pulimento se considera un tiempo de retención hidráulica de 9.5 días y una profundidad de 1.50 m, a partir de datos recomendados por la CNA, de ésta forma se calcula el área de la laguna con la ecuación siguiente:

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

$$A = \frac{(1555.20)(9.5)}{1.50} = 9849.60$$

$$A = 9849.60 \text{m}^2 = 0.985 \text{ ha}$$

Se calcula la longitud de la laguna, tomando como base el ancho de la laguna facultativa, para formar un muro común y abatir los costos de obra:

$$L = \frac{A}{w} \qquad L = \frac{9845}{49} = 201$$

$$L = 201 \text{ m}$$

Se revisa la carga sobre la laguna de pulimento para evitar una sobrecarga con la formula siguiente:

$$= \frac{S_i Q}{A} \qquad \text{sustituyendo valores:}$$

$$C_s = \frac{(0.09782)(1555.20)}{0.985} = 154.44$$

$$C_s = 154.44 \frac{\text{kg DBO}}{\text{ha} \cdot \text{dia}}$$

Verificando que:

$$\frac{154.44}{327.23} = 0.47$$

Valor que resulta menor un 47% a la carga de la primera laguna, por lo que se asegura una buena operación.

Remoción de coliformes fecales en la laguna de pulimento:

Siguiendo el procedimiento empleado en el cálculo de remoción de coliformes fecales en la laguna facultativa se obtienen de igual manera los siguientes datos:

$$K_{CF} = 0.841(1.07)^{T-20}$$

$$K_{CF} = 0.841(1.07)^{23.3-20} = 1.05$$

$$K_{CF} = 1.05$$

Para calcular el coeficiente de dispersión hidráulico se revisa la relación largo/ancho de la laguna de pulimento, donde:  $L=201$  m y  $w=49$ m, por lo que:

$$\frac{L}{w} = X \quad \frac{201}{49} = 4.10$$

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392X + 1.01460X^2}$$

Sustituyendo valores:

$$d = \frac{4.10}{-0.26118 + 0.25392(4.10) + 1.01460(4.10)^2}$$

$$d=0.22$$

además:

$$a = 1 + 4 K_{CF} \cdot d$$

$$a = 1 + 4 (1.05) (9.5) (0.22)$$

$$a=3.12$$

Por lo tanto, la concentración de coliformes fecales, CF<sub>e</sub> será:

$$CF_e = \frac{CF_i \cdot 4 \cdot a \cdot e^{\left(\frac{1}{2d}\right)}}{(1+a)^2 \cdot e^{\left(\frac{a}{2d}\right)} - (1-a)^2 \cdot e^{\left(-\frac{a}{2d}\right)}}$$

$$CF_e = \frac{(10881)(4)(3.12) \cdot e^{\left(\frac{1}{2(0.22)}\right)}}{(1+3.12)^2 \cdot e^{\left(\frac{3.12}{2(0.22)}\right)} - (1-3.12)^2 \cdot e^{\left(-\frac{3.12}{2(0.22)}\right)}}$$

$$CF_e = 65 \text{ NMP/100 ml}$$

Las condiciones finales del efluente de ésta laguna son:

$$C_{sr} = 0.765 C_s - 0.8$$

$$C_{sr} = 0.765 (154.44) - 0.8$$

$$C_{sr} = 117.34 \frac{\text{kgDBO}}{\text{ha} \cdot \text{d}}$$

Sustituyendo en:

$$S_{es} = \frac{1000 (C_s - C_r) A}{Q}$$

$$S_{es} = \frac{1000 (154.44 - 117.34) (0.985)}{1555.20}$$

$$S_{es} = 23.50 \frac{\text{kgDBO}}{\text{ha} \cdot \text{d}}$$

$$S_{er} = 2.3 (S_{es})$$

$$S_{er} = 2.3 (23.50)$$

$$S_{er} = 54.05 \text{ mg/L}$$

Para obtener los Sólidos Sedimentables Totales (SST) en efluentes de lagunas de pulimento la CNA propone el 90% de la carga orgánica superficial remanente.

$$SST = (0.90) (54.05)$$

$$SST = 48.64 \text{ mg/L}$$

$$CF_e = 65 \text{ NMP/100 ml}$$

#### 5.4.1 Remoción de huevos de helmintos

Para la remoción de huevos de helmintos, el cálculo se basa en la ecuación de Yañez que se describe a continuación, y se calcula para el efluente de la laguna de pulimento.

$$RHH = 100 (1 - 0.41^{(-0.38 + 10.0085 T_2)})$$

Donde:

$T_2$  = tiempo de retención hidráulico en la laguna de pulimento

sustituyendo los valores:

$$RHH = 100 (1 - 0.41^{(-0.38 + 10.0085 (9.5))})$$

RHH= 100% remoción de huevos de helmintos en el efluente de la laguna de pulimento.

La tabla 5.8 muestra el resumen de los parámetros más importantes calculados para el diseño de la laguna de pulimento.

**TABLA 5.8 DISEÑO DE LA LAGUNA DE PULIMENTO CON EL MÉTODO DE YAÑEZ**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALORES CALCULADOS</b>
Carga orgánica superficial, $C_s$	154.44 kg DBO/ha.d
Carga removida en la laguna, $C_{sr}$	117.34 kg DBO/ha.d
Tiempo de retención, $t$	9.5 días
Area de la laguna, $A$	0.985 ha.
Profundidad media, $h$	1.50 m
Volumen de la laguna, $V$	14,773.5M <sup>3</sup>
Ancho, $w$	49.0 m
Largo, $L$	201.0 m
Relación largo/ancho, $X$	4.10
Carga orgánica superficial soluble, $S_{es}$	23.50 Mg DBO/L
Carga orgánica superficial remanente, $S_{er}$	54.05 Mg DBO/L
Sólidos suspendidos totales, $SST$	48.64 mg/L
Coliformes fecales, $C_{fe}$	65 NMP/100ml
Tasa de evaporación neta, $e$	3.90 Mm/día
Tiempo de retención, $t$	9.5 días

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez obtenidas las dimensiones necesarias de todo el tren de tratamiento, se procede a anexar el plano general de la planta de tratamiento de aguas residuales (figura 5.5) en el que se aprecian los detalles más importantes de la planta. Respecto al proyecto arquitectónico las estructuras que sobresalen del terreno que son la parte visible del sistema de tratamiento, por ello se deberá procurar la

armonía de las estructuras y que estéticamente el conjunto resulte agradable a las personas que laboren en el sitio y las que visiten la planta.

En general se pretende que las obras sean funcionales y que las áreas en que se desempeñarán las distintas actividades se complementen y sean accesibles, de tal forma que se faciliten y proporcionen eficiencia a las tareas por realizar.

Para definir el arreglo de conjunto, se considero principalmente el funcionamiento general de la planta, la posición que deben tener las estructuras de acuerdo a su uso, con el fin de asegurar el flujo por gravedad en el tren principal del tratamiento y el aspecto armónico de todo el conjunto.

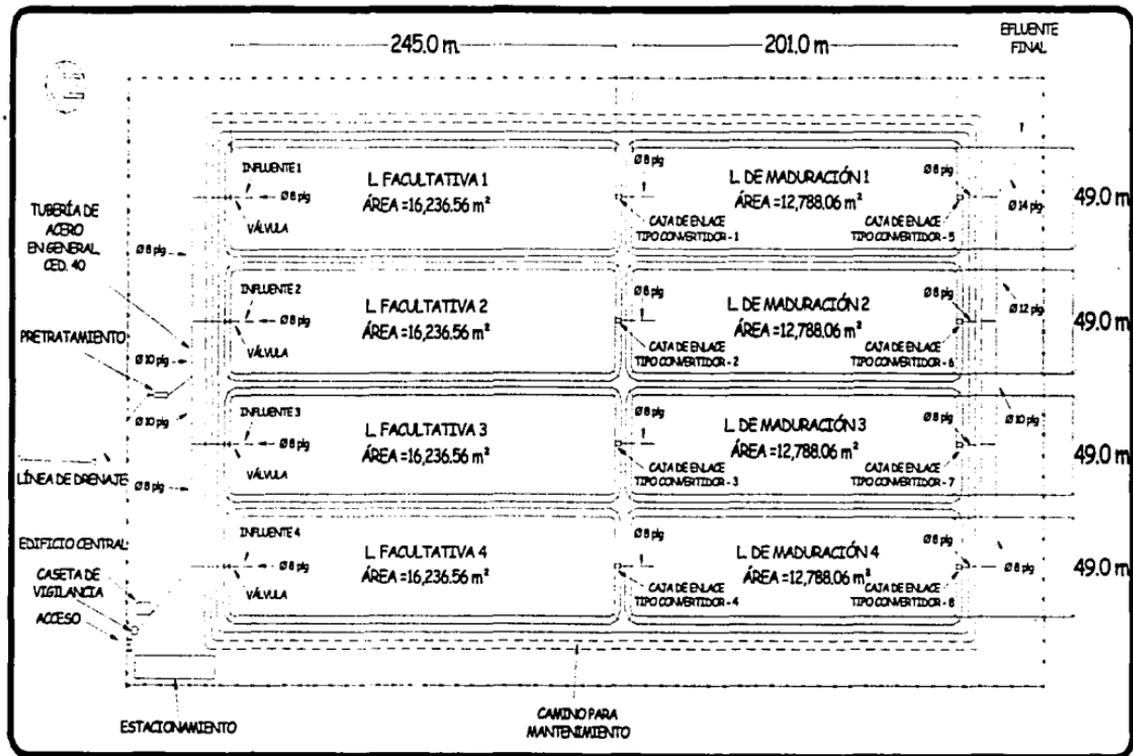
Los edificios que se contemplan: la caseta de vigilancia y el edificio central.

La vialidad se planeo perimetral de 4 metros de ancho complementado con un estacionamiento tanto para personal de la planta como para visitantes.

Se contemplan jardines, desde el inicio de la planta hasta prácticamente el final de la misma, lo cual le dará a la instalación una belleza natural y una sensación agradable.

El edificio central será el más importante de la planta, en el se encontrará la oficina del jefe de la planta, el laboratorio, recepción y los sanitarios. La caseta de vigilancia mantendrá el control al acceso de la planta, cuenta con medio baño, estancia del vigilante y un pequeño pórtico para espera de visitas o personal.

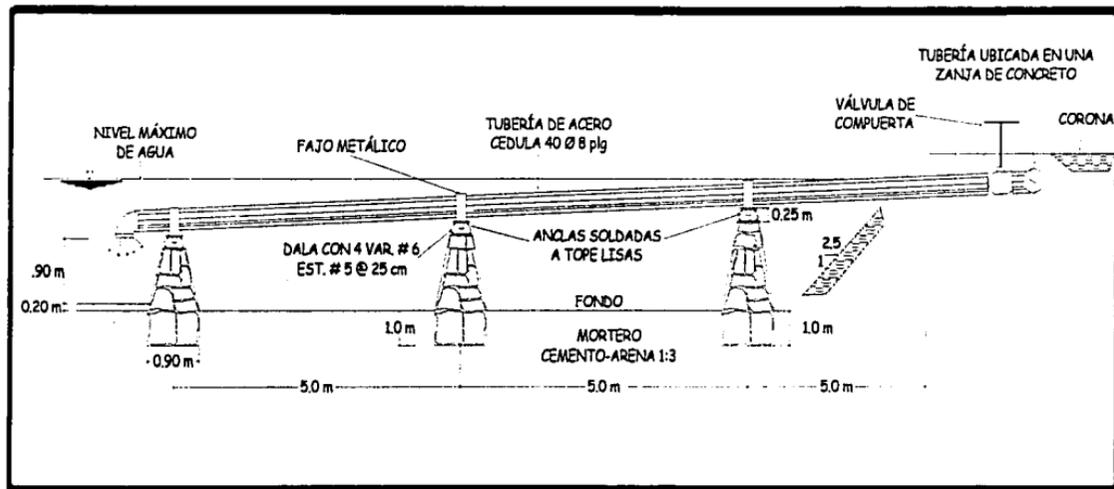
FIGURA 5.5 PLANO GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

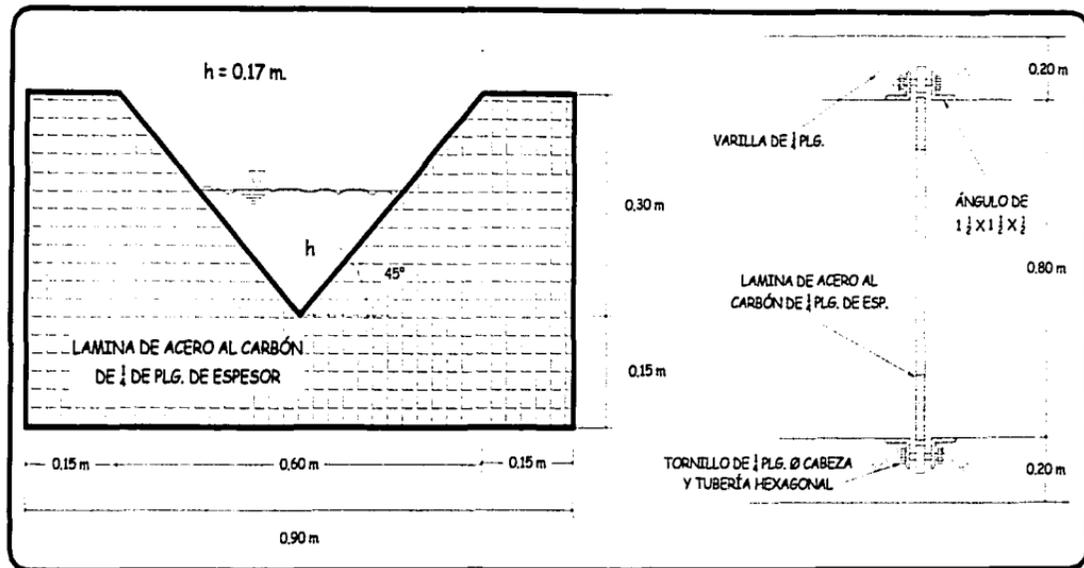
FIGURA 5.6 CARACTERÍSTICAS DEL INFLUENTE EN LAS LAGUNAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

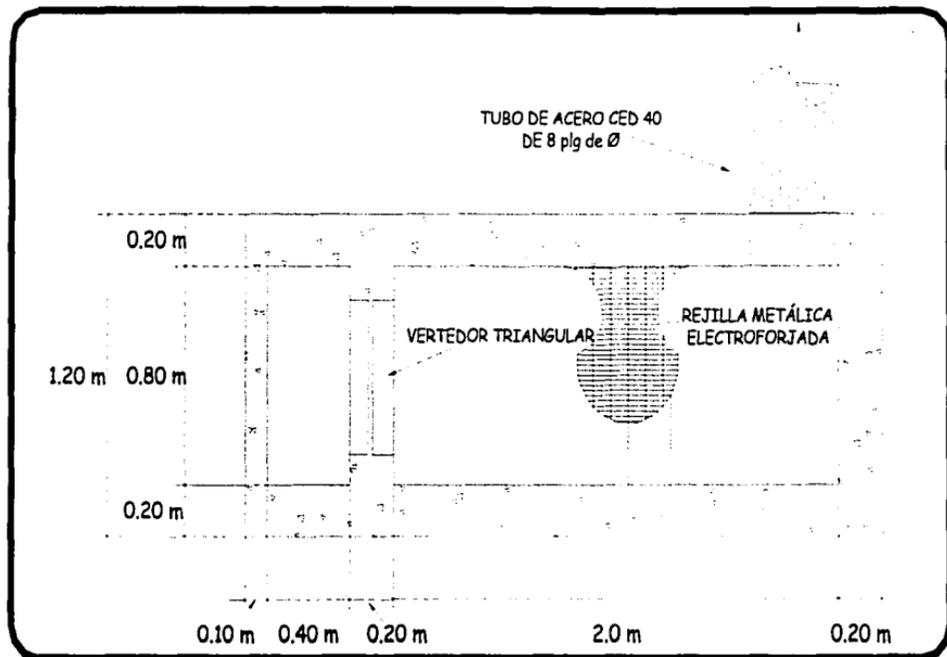
FIGURA 5.7 CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDEDOR TRIANGULAR



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TESTE CON  
FALLA DE ORIGEN

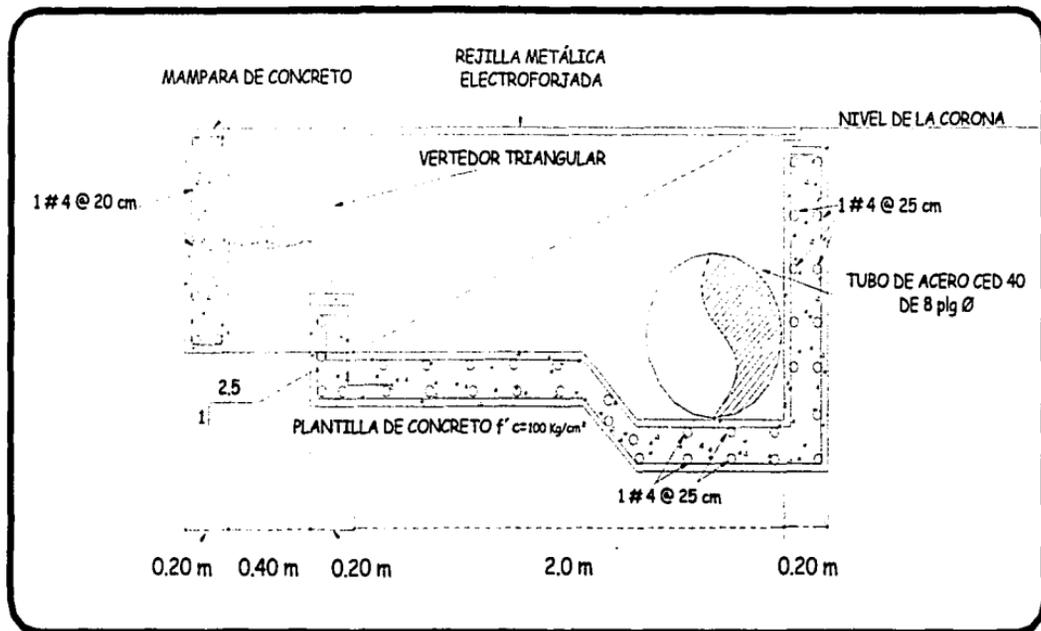
FIGURA 5.8 CAJA DE ENLACE TIPO (ALZADO)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 5.9 CAJA DE ENLACE TIPO (PLANTA)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES

Se concluye que el sistema lagunar de tratamiento de aguas residuales propuesto, es simple y efectivo, ya que los cálculos obtenidos nos dan referencia de que el efluente final cumple con las normas y parámetros requeridos para su reúso agrícola. Por otro lado su simplicidad de diseño y construcción abaten los costos de obra y mantenimiento.

Es importante señalar que las condiciones físicas que se presentan en el lugar, son las adecuadas para el desempeño de éste tipo de sistema, ya que se presenta un clima adecuado para éste tipo de trenes de tratamiento de aguas residuales.

El principal inconveniente del sistema lagunar propuesto es el área de terreno que se requiere, sin embargo, es importante indicar que existen áreas de terreno en la zona sin cultivar, esto debido a la escasez de recursos hidráulicos y económicos, por lo que existe la disponibilidad de terreno.

En conclusión se aprecia que el tren de tratamiento analizado cumple con los objetivos especificados, es decir, que el sistema de lagunas de estabilización que se propone se puede considerar como una alternativa real de tratamiento de aguas residuales en la población de Nueva Italia Michoacán.

## BIBLIOGRAFÍA

### **Archivos de la Presidencia Municipal de Nueva Italia Michoacán**

Comisión Nacional del Agua  
"Diseño de Lagunas de Estabilización"  
México D.F S/F

Comisión Nacional del Agua  
"Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos  
Producidos"  
México D.F 1996

Comisión Nacional del Agua  
"Guía para el Control de Descargas a los Sistemas de Alcantarillado Urbano o  
Municipal"  
México D.F 2000

Comisión Nacional del Agua  
"Saneamiento Rural"  
México D.F 1994

Comisión Nacional del Agua  
"Paquetes Tecnológicos para el Tratamiento de Excretas y Aguas Residuales  
en Comunidades Rurales"  
México D.F 1997

Comisión Nacional del Agua  
"Guía para el Manejo, Tratamiento y Disposición de Lodos Residuales de  
Plantas de Tratamiento Municipales"  
México D.F 1999

Collí M.J  
1994

Carta Topográfica de la Población de Nueva Italia Michoacán editada por el  
INEGI

**Censos de Población y Vivienda para la Población de Nueva Italia editados por el INEGI**

Departamento de Sanidad de New York  
**"Manual de Tratamiento de Aguas Negras de New York"**  
LIMUSA N.Y 1980

Feachem, R.G y otros  
**"Water Wartes and Health in Hot Climates"**  
John Wiley, S/F

Gloyna, E.E  
**"Waste Stabilizations Ponds"**  
Geneva 1971

González, E.E  
**"Manual de Operaciones de Plantas de Tratamiento Primarias de Aguas Residuales"**  
SARH, 1981

Montejano, U.F  
**"Lagunas de Estabilización"**  
UNAM, México D.F 1969

**Publicaciones de la SARH**

**Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán editada por el INEGI**

The university of Liverpool  
**"Las Lagunas de Estabilización como Alternativa al Tratamiento para reúso Agrícola"**  
IMTA, 1995