

97  
291



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“ANTEPROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES SANTA CATARINA,  
EN LA DELEGACION DE TLAHUAC, D.F.”

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A N  
**MIGUEL ANGEL PEREZ FERNANDEZ**  
**REYES ARELLANO MASTACHE**



MEXICO, D. F.

1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-171/96

Señor  
**REYES ARELLANO MASTACHE**  
**MIGUEL ANGEL PEREZ FERNANDEZ**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. OSCAR E. MARTINEZ JURADO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

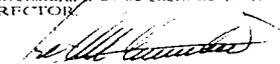
**"ANTEPROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA CATARINA, EN LA DELEGACION DE TLAHUAC D. F."**

- I. INTRODUCCION
- II. GENERALIDADES
- III. EVALUACION DE OPCIONES DE TRATAMIENTO
- IV. DISEÑO DIMENSIONAL E HIDRAULICO DEL PROCESO
- V. ESTUDIOS BASICOS E INGENIERIA DE DETALLE
- VI. PROCESO CONSTRUCTIVO
- VII. OPERACION Y MANTENIMIENTO
- VIII. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES
- IX. BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria 24 de enero de 1997.  
El DIRECTOR

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS/GMP\*lmf

## INDICE

	Página
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>1. GENERALIDADES</b> .....	3
<b>1.1 NORMATIVIDAD</b> .....	4
1.1.1 LEY DE AGUAS NACIONALES.....	4
1.1.2 LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLOGICO.....	6
1.1.3 NORMA OFICIAL MEXICANA.....	8
<b>1.2 PLAN DE DESARROLLO 1995-2000 DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b> .....	9
<b>1.3 MARCO FISICO</b> .....	16
1.3.1 LOCALIZACION.....	16
1.3.2 USO DEL SUELO.....	18
1.3.3 POBLACION SERVIDA.....	19
<b>1.4 SISTEMA DE ALCANTARILLADO</b> .....	22
<b>1.5 CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE TRATABILIDAD</b> .....	23
1.5.1 CARACTERIZACION.....	23

1.5.2 TRATABILIDAD.....	24
<b>2. EVALUACION DE OPCIONES DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>26</b>
2.1 IDENTIFICACION DE OPCIONES VIABLES.....	27
2.2 DISEÑO CONCEPTUAL DE OPCIONES.....	29
2.2.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	29
2.2.2 LODOS ACTIVADOS.....	37
2.2.3 AIREACION EXTENDIDA.....	42
2.2.4 PROCESO ANAEROBIO.....	48
2.2.5 EQUIPO DE CLORACION.....	51
2.3 ANALISIS DE COSTOS.....	52
2.3.1 COSTOS DE INVERSION.....	52
2.3.2 COSTOS DE OPERACION.....	53
2.4 SELECCION DE LA OPCION MAS ADECUADA.....	62
<b>3. DISEÑO DIMENSIONAL E HIDRAULICO DEL PROCESO.....</b>	<b>68</b>
3.1 REJILLAS Y CANAL DE ENTRADA.....	69
3.2 DESARENADOR.....	72
3.3 CARCAMO DE BOMBEO.....	74
3.4 CAJAS RECEPTORA Y DERIVADORA.....	77

3.5 CANALES DE ALIMENTACION.....	80
3.6 SISTEMA DE AIREACION.....	81
3.7 TANQUES DE CLORADO Y ALMACENAMIENTO.....	93
3.8 CALCULO DE PERDIDA DE CARGAS.....	95
<b>4. ESTUDIOS BASICOS E INGENIERIA DE DETALLE .....</b>	<b>102</b>
4.1 ESTUDIOS PRELIMINARES.....	103
4.1.1 TOPOGRAFIA.....	103
4.1.2 MECANICA DE SUELOS.....	105
4.1.3 REUSOS DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS.....	120
4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL.....	122
4.2.1 ANALISIS ESTRUCTURAL EN CONDICIONES ESTATICAS Y SISMICAS.....	122
4.2.2 CALCULO DE ASENTAMIENTOS Y EXPANSIONES.....	128
4.3 DISEÑO DE INSTALACIONES.....	129
4.3.1 SUBESTACION ELECTRICA.....	129
4.3.2 SISTEMA DE TIERRAS.....	139
<b>5. PROCESO CONSTRUCTIVO.....</b>	<b>142</b>
5.1 SUBESTRUCTURA.....	144
5.1.1 TRAZO Y NIVELACION.....	144

5.1.2 LIMPIEZA.....	146
5.1.3 ACARREOS.....	146
5.1.4 EXCAVACIONES.....	147
5.1.5 PLANTILLAS.....	148
5.1.6 CAJONES DE CIMENTACION.....	150
5.1.7 LUMBRERA FLOTADA.....	152
5.2 SUPERESTRUCTURA.....	159
5.2.1 ACERO.....	159
5.2.2 CIMBRA.....	159
5.2.3 CONCRETO HIDRAULICO.....	160
5.2.4 MUROS.....	162
<b>6. OPERACION Y MANTENIMIENTO.....</b>	<b>165.</b>
6.1 PARAMETROS DE OPERACION.....	165
6.2 FALLAS EN LAS PLANTAS Y SU CONTROL.....	169
6.2.1 PROBLEMAS TIPICOS DE OPERACION.....	170
6.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE SANTA CATARINA.....	175
6.4 PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN OPERACION.....	179

6.4.1 PROBLEMAS TÍPICOS DURANTE PUESTA EN OPERACION.....	187
6.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	190
6.6 DETECCIÓN Y SOLUCION DE PROBLEMAS DE OPERACION.....	191
6.7 SEGURIDAD EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	193
7. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.....	196
BIBLIOGRAFIA.....	200

## INTRODUCCION

El recurso natural agua es la sustancia simple que más abunda en la biosfera. El agua superficial comprende 1320 millones de  $\text{km}^3$  de océanos, 30 millones de  $\text{km}^3$  de hielo polar, 125 mil  $\text{km}^3$  de lagos de agua dulce, 100000  $\text{km}^3$  de lagos de agua salada y 1200  $\text{km}^3$  de agua corriente, en tanto que la del subsuelo cuenta con 25 mil  $\text{km}^3$  hasta 1 m de profundidad, y 4.2 millones de  $\text{km}^3$  de 1 a 800 m, nivel que se considera de explotación práctica. Sin embargo, de estas cantidades, solo son factibles de aprovechamiento para abastecimiento público, riego, y usos industriales, las aguas dulces, o sea 0.32 por ciento de dicho recurso. Aunada a la inadecuada distribución del agua se encuentra la alteración de su calidad natural, debido a la indiscriminada disposición de los retornos sin un verdadero control. A últimas fechas se habla con frecuencia de la necesidad de hacer un uso racional del agua.

En nuestro país es difícil pensar, por su alto costo, en someter a tratamiento las aguas residuales, exclusivamente con el fin de proteger el medio ambiente. Esta situación debe considerarse junto con el hecho de que en algunas actividades es factible utilizar agua de calidad no potable.

Agua pura no existe en la naturaleza, ya que la lluvia se satura de gases de la atmósfera y de polvos y humos. Además, al mezclarse con gases producto de la descomposición de la materia orgánica, se torna ácida y por tanto está en condiciones de disolver minerales del suelo y rocas, alcanzando características de agua dura. En su escurrimiento superficial arrastra suelo erosionado, vegetación en descomposición, microorganismos y materia en suspensión, estado coloidal y sustancias solubles, además de microorganismos infecciosos, sustancias químicas e inorgánicas, todas las cuales forman parte en su momento de los efluentes municipales, industriales y agrícolas, problema que se ha venido incrementando en los últimos años y que a pesar del desarrollo ingenieril, no se ha podido controlar en nuestro país. De acuerdo a lo anteriormente mencionado existe la necesidad de encontrar métodos precisos para la reutilización del agua.

El reuso de los efluentes líquidos puede hacerse en forma directa o indirecta; en el primer caso los residuos se aprovechan inmediatamente después de haber adquirido su nivel de calidad por medio de tratamientos, en el segundo se tiene un tiempo de tránsito entre la descarga del residuo y su recuperación.

El uso de aguas residuales puede ser para enfriamiento de equipo, lagos recreativos, recarga de acuíferos subterráneos, uso doméstico y para riego agrícola o forestal. Siendo este último la causa de la proposición de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, como la de Santa Catarina en Tlahuac. En México se utilizan aguas residuales en más de 150 ha. La experiencia hace pensar en la posibilidad de extender el uso de aguas tratadas, desde luego tomando en cuenta un riguroso control sanitario para no afectar la salud pública ni contaminar acuíferos o suelos, reglamentando los cultivos potenciales y utilizando tecnología de tratamiento al más bajo costo.

La historia de la Cd. de México, ha sido la historia de la lucha por el abastecimiento del agua y el desalojo de la misma. Hoy día las dependencias gubernamentales a quienes corresponde enfrentar esta lucha, realizan mayores y más complejas obras, las cuales son una invitación para las innovaciones ingenieriles y aun más para los futuros ingenieros quienes participaremos en su concepción, desarrollo técnico y realización. Del mismo modo, esta tesis es una atenta invitación para formar parte de esta lucha, donde analizando su contenido podremos comprobar el uso oportuno de tecnología de punta.

## **CAPITULO 1**

### **GENERALIDADES**

## **1. GENERALIDADES**

En el presente capítulo nos referiremos a la reglamentación existente para toda descarga de aguas negras y su posible reuso una vez tratadas. También tendremos una visión general gubernamental a través del plan de desarrollo 1995-2000 enfocándonos específicamente a plantas de tratamiento de aguas residuales. Toda vez tratados los temas anteriores se reconocerán las bases para la construcción de la planta de tratamiento de Santa Catarina en la Delegación Tlahuac.

### **1.1 NORMATIVIDAD**

A continuación se enuncian y se comentan las partes medulares de las tres principales leyes que norman dentro del país, el control de la posible contaminación de las aguas, los límites permisibles de contaminantes y el tratamiento de aguas residuales.

#### **1.1.1 LEY DE AGUAS NACIONALES**

Para la prevención y control de la contaminación de las aguas, de acuerdo al artículo 86 de la Ley de Aguas Nacionales, la Comisión Nacional Del Agua (CNA) tendrá a su cargo:

I.- Promover, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga.

II.- Formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua.

**III.- Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal, de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos**

De la misma manera se puede observar que la CNA inspeccionara las descargas de aguas residuales con el objeto de verificar el cumplimiento de la Ley. Los resultados de dicha fiscalización podrán servir de base para que la Comisión y las demás dependencias de la Administración Pública Federal puedan aplicar las sanciones previstas por el Artículo 95 de esta misma Ley.

De acuerdo al Artículo 101, la Comisión realizara por si misma o por terceros las obras públicas federales de infraestructura hidráulica que se desprende de los programas de inversión a su cargo. De igual manera podrá ejecutar las obras que se le soliciten y que se financien total o parcialmente con recursos distintos de los federales, para lo cual la Comisión establecerá las normas características y requisitos para su ejecución y supervisión.

Se considera importante la participación de la inversión privada y social en obras hidráulicas federales, para lo cual la CNA podrá:

**I.- Celebrar con particulares contratos de obra pública y servicios con la modalidad de inversión recuperable, para la construcción, equipamiento y operación de infraestructura hidráulica, pudiendo quedar a cargo de una empresa la responsabilidad integral de la obra y su operación.**

**II.- Otorgar concesión total o parcial para operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar la infraestructura hidráulica construida por el Gobierno Federal además de prestar los servicios respectivos**

## **1.1.2 LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLOGICO**

Para la prevención y control de la contaminación del agua corresponde a la Secretaría de Desarrollo Social :

**I.-** Expedir en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (hoy SAGAR), y las demás autoridades competentes, las normas técnicas para la descarga de aguas residuales en redes colectoras, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como para infiltrarlas en terrenos.

**II.-** Emitir los criterios, lineamientos, requisitos y demás condiciones para regular el alejamiento, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, a fin de evitar contaminación que afecte el equilibrio de los ecosistemas en coordinación con la Secretaría de Salud cuando se ponga en peligro la salud pública.

**III.-** Expedir las normas técnicas ecológicas a las que se sujetará el almacenamiento de aguas residuales.

**IV.-** Dictaminar las solicitudes de permisos para infiltrar o descargar aguas residuales en terrenos o cuerpos distintos de los alcantarillados.

**V.-** Fijar condiciones particulares de descarga a quienes generen aguas residuales captadas por sistemas de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan sus aguas en cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos.

**VI.-** Promover el reuso de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas e industriales.

**VII.-** Determinar los procesos de tratamiento de las aguas residuales en función del destino de esas aguas y las condiciones del cuerpo receptor.

**VIII.-** Resolver sobre solicitudes de autorización para el establecimiento de plantas de tratamiento y sus descargas conjuntas, cuando dichas descargas contaminantes provengan de dos o más obras, instalaciones o industrias de jurisdicción federal.

**IX.-** Expedir en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la de Salud, las Normas Técnicas Ecológicas que deban observarse para el tratamiento de aguas residuales de origen urbano que se destinen a la industria y a la agricultura.

Asimismo para el control de la contaminación del agua le corresponde a los estados y municipios:

**I.-** El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado.

**II.-** Requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no satisfagan las normas técnicas ecológicas que se expidan. La instalación de sistemas de tratamiento

**III.-** Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar

De acuerdo al Art 123 de esta ley, todas las descargas en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demas depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas técnicas ecológicas que para tal efecto se expidan y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría de Desarrollo Social, (SEDESO) Correspondera a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento

Cuando las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua, la SEDESO lo comunicará a la Secretaría de Salud y promoverá ante la autoridad competente la negativa del permiso o autorización correspondiente

Las aguas residuales provenientes del alcantarillado urbano podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten, en los casos que se requiera, al tratamiento que cumpla con las normas técnicas emitidas por la SEDESO, en coordinación con las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud.

### **1.1.3 NORMA OFICIAL MEXICANA**

#### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCA-031-ECOL/1993**

"Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal"

La presente Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, debiendo cumplir con las especificaciones que se indican en la Tabla 1 del Diario Oficial con fecha 18 de octubre de 1993

Cuando las autoridades identifiquen técnicamente que alguna descarga a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que éstas deben cumplir antes de su vertido al cuerpo receptor podrán fijar condiciones particulares de descarga, en las que se establezcan límites máximos permisibles más estrictos.

#### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-067-ECOL-1994**

"Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal".

La presente Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal, debiendo cumplir con las especificaciones que se indican en las Tablas 1 y 2 del Diario Oficial del viernes 6 de enero de 1995

En el caso de que se identifiquen descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles, causen efectos negativos en el cuerpo receptor, la autoridad fijará condiciones particulares de descarga más estrictas.

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor el día 1º de enero de 1997.

## **1.2 PLAN DE DESARROLLO 1995-2000**

El Plan de Desarrollo 1995-2000 establece el fortalecimiento de los organismos responsables del manejo integral de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento; así como extender la integración de consejos por cuencas hidrológicas; siendo prioritario el saneamiento de las cuencas más contaminadas, en las que se intensificarán los esfuerzos de rehabilitación, buscando proteger la salud de la población y restablecer en lo posible la calidad de los ecosistemas. Para cumplir este objetivo se desplegará una política de regularización del universo de usuarios y de descargas de aguas residuales de origen urbano e industrial, con respaldo en un sistema adecuado de sanciones, precios y estímulos.

El agua potable como recurso fundamental para la vida humana, el alcantarillado y el saneamiento como elementos esenciales para la salud pública y para un medio ambiente limpio, son los satisfactores más demandados por la población en las ciudades y cuya dotación tiene un efecto muy importante en la elevación de sus condiciones de vida

La problemática que presentan estos rubros se asocia en gran medida a la falta de capacidad de las ciudades para acompañar el crecimiento de la demanda, asociado a su crecimiento económico y demográfico. Se suma a lo anterior la falta de una cultura que incentive el ahorro del agua.

En gran número de ciudades, los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento de agua enfrentan problemas de financiamiento y de capacidad de desarrollo técnico, relacionados con el desfase de las tarifas en relación a los costos de producción. En los casos en los cuales se ha incluido el cobro del tratamiento de aguas residuales en el precio del agua, el problema de déficit del financiamiento de estos organismos ha aumentado.

La actual complejidad económica, técnica y financiera de los sistemas de abastecimiento de agua, así como la falta de infraestructura para la operación de aguas residuales implican que sólo se han podido alcanzar coberturas de la población nacional, en 1995, del orden del 83.5% en el caso de abastecimiento del agua entubada y de 67% en el drenaje sanitario. Las cifras anteriores se traducen en rezagos de cobertura de 15.10 millones de personas en el país sin acceso de agua entubada y de 30.2 millones sin alcantarillado.

El fecalismo al aire libre, que representa la carencia de servicio de alcantarillado, constituye una amenaza grave para la salud, principalmente en las zonas pobres de las ciudades y en muchas localidades rurales.

Aun con redes de alcantarillado, el problema del saneamiento del agua subsiste, pues un volumen de 100 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales de origen urbano son vertidas a cuerpos de agua sin previo tratamiento.

Es prioritario e insoslayable aplicar las coberturas de acceso al agua entubada y al saneamiento, tanto del rezago acumulado como de la nueva demanda.

Desde 1956, el Distrito Federal aprovecha y reusa las aguas residuales tratadas. La primer planta que se puso en operación fue la de Chapultepec, utilizando sus aguas en el llenado de lagos recreativos y riego de zonas verdes.

Actualmente, el sistema de tratamiento de aguas residuales cuenta con la siguiente infraestructura:

21 plantas de tratamiento, de las cuales 17 son a nivel secundario y 4 a nivel terciario; con una capacidad de conjunto de 6282 lts/s, equivalente al 20% de las aguas residuales generadas en la Ciudad de México. Con este caudal se riegan 6500 ha de áreas verdes y 6000 ha agrícolas, y se renuevan 3500 millones de lts de agua en lagos, lagunas y 360 mil m de canales que ocupan una superficie de 230 ha. También se abastecen 691 establecimientos comerciales y 120 industriales a través de 783 mil m de tubería. Además, el sistema cuenta con 18 tanques de almacenamiento con capacidad conjunta de 42 millones de lts y 17 plantas de rebombeo con capacidad total de 2400 lts/s, como se puede ver en la tabla 1.

**Infraestructura de tratamiento nivel terciario**

Nombre	Delegación	Gasto	Effluente (lps)
Rosario (d)	Azcapotzalco		25
Iztacalco (c)	Iztacalco		15
Cerro de la Estrella (d)	Iztapalapa		4,000
San Luis Tlaxialtemalco (f)	Nochimilco		150
			<b>Subtotal 4,190</b>

**Infraestructura de tratamiento nivel secundario**

Ciudad Universitaria (a)	Coyoacán		60
Coyoacán (a)	Coyoacán		800
Tlatelolco (a)	Cuauhtemoc		22
Acueducto de Guadalupe (a)	Gustavo A. Madero		100
San Juan de Aragón (a)	Gustavo A. Madero		500
Ciudad Deportiva (a)	Iztacalco		230
Bosques de las Lomas (b)	Miguel Hidalgo		55
Chapultepec (a)	Miguel Hidalgo		160
Campo Militar N° 1 (e)	Naucalpan de Juárez		30
San Juan Ixtayopan (e)	Tlahuac		15
Tatelco (e)	Tlahuac		15
Abasolo (e)	Tlalpan		15
H. Colegio Militar (e)	Tlalpan		20
Parres (e)	Tlalpan		7
Pemex (a)	Tlalpan		25
Xicalco (e)	Tlalpan		8
Reclusorio Sur (e)	Nochimilco		30
			<b>Subtotal 2,092</b>

**Total 6,282**

- (a) Tratamiento secundario con lodos activados convencional más desinfección con cloro
- (b) Tratamiento secundario con lodos activados en su modalidad de aireación extendida
- (c) Tratamiento terciario con (a) más filtración con grava, arena y antracita
- (d) Tratamiento terciario con (c) más adsorción en carbón activado
- (e) Tratamiento terciario con (c) más tratamiento con lodos
- (f) (a) más tratamiento con lodos

**TABLA 1.1 INFRAESTRUCTURA EN PLANTAS DE TRATAMIENTO EN LA CD. DE MEXICO**

**Dentro de toda esta infraestructura destacará la planta de tratamiento de Santa Catarina a nivel secundario.**

**Como podemos observar la infraestructura en plantas de tratamiento depende de la calidad del agua que se requiera obtener. De la misma manera los niveles de tratamiento: Primario, Secundario y Terciario se definen en base al tipo de procesos requeridos por el influente para lograr el objetivo de cada planta.**

Podemos por tanto pensar en el siguiente tren de procesos donde para el tratamiento Primario se decanta por gravedad material en suspensión y se retiran grasas, aceite y natas sobrenadantes. Para esto se cuenta con sistemas de recolección de sólidos, constituidos por rastras que se mueven lentamente para concentrar el material sedimentado en el fondo de los tanques, hacia tolvas que regularmente se encuentran al inicio para su posterior extracción. Las rastras también recogen el sobrenadante hacia dispositivos desnatadores que generalmente se encuentran en el extremo final. El efluente se conduce hacia los tanques aireadores para iniciar el tratamiento secundario.

En el tratamiento Secundario se desdobra la materia orgánica utilizando la acción biológica de un medio aerobio es decir, se recibe el agua presedimentada, bacterias y protozoarios que desintegran la materia orgánica, lodos que mantienen el equilibrio del proceso y aire disperso para garantizar el oxígeno necesario para la reproducción y desarrollo de microorganismos.

Para el tratamiento Terciario el efluente del proceso Secundario se somete a un proceso adicional para lograr una mejor calidad del agua, por ejemplo la filtración con arena, grava y antracita.

Por tanto, los elementos o equipos para lograr cada nivel de tratamiento son variados y sensiblemente diferentes en cuanto a su eficiencia, en la tabla 1.2 se presentan los componentes más utilizados para cada nivel de tratamiento.

### **TRATAMIENTO PRIMARIO**

- Cribado
- Sedimentación
- Flotación
- Separación de grasas y aceites
- Homogenización
- Neutralización

### **TRATAMIENTO SECUNDARIO**

- Lodos activados
- Aireación prolongada ( PROCESOS DE OXIDACION )
- Estabilización por contacto
- Lagunaje con aireación
- Estabilización por lagunaje
- Filtros biológicos ( PERCOLADORES )
- Discos biológicos
- Tratamientos anaerobios ( PROCESOS DE CONTACTO )
- Filtros sumergidos

### **TRATAMIENTO TERCIARIO**

- Microtamizado
- Filtración ( LECHO DE ARENA, ANTRACITA O DIATOMEAS )
- Precipitación y coagulación
- Adsorción ( CARBON ACTIVADO )
- Intercambio iónico
- Cloración y ozonación
- Otros

**TABLA 1.2 TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**Para el periodo 1995-2000, el gobierno tiene las siguientes prioridades y metas:**

**Atender el rezago de servicios en las zonas rurales y en poblaciones urbanas marginadas, con apoyo gubernamental federal, estatal y municipal, así como con la participación de los sectores de la población. Apoyar la elevación del servicio de agua potable en las zonas rurales, de 13.8 millones de habitantes en 1995 a 18.8 millones de habitantes al año 2000, y el saneamiento de 5.5 millones de habitantes en 1995 a 15.1 millones de habitantes al año 2000. Promover el incremento del servicio de agua potable en las zonas urbanas de 62.8 millones de hab en 1995 a 68.1 millones de hab al año 2000, e incrementar el servicio de alcantarillado de 56.0 millones en 1995 a 60.6 millones de hab en el año 2000.**

Para atender el control de la contaminación se han localizado 15 cuencas prioritarias; entre las que se encuentra la cuenca del Valle de México. Entre las medidas que se han tomado, destaca el incrementar el tratamiento de aguas residuales de origen urbano de 17 a 82 m<sup>3</sup>/s, dando prioridad a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales en dichas cuencas

Dentro de las estrategias que se plantea el gobierno para alcanzar las metas esta la de apoyar a los organismos operadores y municipios para que en las zonas urbanas se alcancen altos niveles de eficiencia física y comercial, y se aumente la cobertura de servicios, a través de acciones técnicas y de desarrollo institucional que favorezcan su acceso a modalidades de financiamiento, incluyendo la concesión integral de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Promover la orientación de subsidios destinados a la obtención de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento para las comunidades y grupos de población en condiciones de pobreza y pobreza extrema. Promover que los municipios contemplen la planeación y dotación de los servicios antes mencionados en forma integral a las localidades urbanas y rurales, con esto se pretende establecer una política tarifaria que facilite la autosuficiencia financiera.

**Se apoyarán en especial los programas que contribuyan al desarrollo de la cultura del agua y sirvan de ejemplo a la niñez. La CNA continuará el programa "Agua Limpia" en coordinación con la Secretaría de Salud y los gobiernos estatales, con las siguientes acciones: Instrumentar y operar los sistemas de información, seguimiento y evaluación de fuentes de abastecimiento y descargas de aguas residuales, así como de empresas embotelladoras, fábricas de hielo, plantas de tratamiento y cultivos restringidos regados con aguas residuales. Revisar la normatividad en materia de saneamiento incidiendo en el control de la operación de plantas de tratamiento atendiendo específicamente a la remoción de contaminantes y a la disposición de lodos biológicos vigilando también, la aplicación y cumplimiento de las normas oficiales vigentes en la materia.**

Se dará solución integral al tratamiento de 42 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales que genera la zona metropolitana mediante el programa de saneamiento del valle de México, a cargo de la CNA. Este proyecto incluye la construcción de macroplantas de tratamiento para cada uno de los emisores que desalojan las aguas del valle y diversas acciones en las zonas de riego que aprovechan esos efluentes.

Se promoverá el reuso de aguas residuales tratadas para reducir los volúmenes de extracción de agua.

Se determinarán y verificarán los volúmenes de agua que utilizan y descargan los usuarios industriales en cantidad y calidad, y se promoverá el uso eficiente del agua y el tratamiento de las aguas residuales mediante incentivos económicos, especialmente con los grandes usuarios, tales como las industrias de azúcar, hierro y acero, papel y celulosa, alimentos, extracción de minerales, petroquímica y química básica

Como se puede ver, dentro del Programa de Saneamiento del Valle de México, una de las medidas principales es la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, donde se incluye la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el pueblo de Santa Catarina

El propósito de la construcción de esta planta es el de aprovechar las aguas residuales de la zona una vez tratadas y toda vez analizada la tratabilidad del influente. Los estudios de tratabilidad y las necesidades de generar un efluente de calidad utilizable en la zona aportaron las bases para el diseño del anteproyecto de la planta en Santa Catarina con una capacidad de hasta  $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$  integrada por 3 módulos.

La operación de esta planta coadyuvará a mejorar la administración del agua de la zona liberando agua de calidad para reuso en riegos agrícolas y forestales.

### **1.3 MARCO FISICO**

El predio donde el anteproyecto se construirá, se eligió tomando en cuenta la ubicación de la fuente de aguas residuales, el sitio hacia donde se conducirá el efluente tratado y la disponibilidad tanto de servicios como de vías de comunicación. A continuación se describe el ambiente donde se proyecta construir la Planta de Tratamiento de Santa Catarina en Tlahuac.

#### **1.3.1 LOCALIZACION**

La Delegación de Tlahuac se localiza al sureste de la ciudad de México. Colinda al norte con la Delegación Iztapalapa, en la avenida Tlahuac en los puntos de las cimas de los volcanes Xaltepec, Tetecon y Guadalupe. Al este colinda con los Municipios de Iztapalapa y Chalco en el canal general y una parte en el canal Arceameca y caminos rurales. Al sur limita con la Delegación Milpa Alta en caminos rurales y en el volcán Teutli, asimismo colinda con la Delegación Xochimilco en los canales Caltongo y Chalco. Al oeste limita con la Delegación Iztapalapa en las calles Piraña, Turba y una parte de la calzada Tlahuac, como se puede observar en la figura 1.1, se establece el área de influencia para este estudio, la cual abarca una superficie de 150 ha aproximadamente, pertenecientes a la zona urbana del Pueblo de Santa Catarina Yecahizotl y Ampliación Santa Catarina, limitada por la carretera Tlaltenco a la México-Puebla, el área habitacional esta rodeada de grandes extensiones agrícolas.

El clima es templado húmedo, la temperatura media anual está entre los 12 y 18 °C. Las lluvias son en verano con una precipitación media anual de 520.8 mm. La precipitación del mes más seco es de 5.4 mm en diciembre y el porcentaje de lluvia invernal es de 4.3 %.

La porción central de la Delegación se constituye por una superficie plana correspondiente a la zona lacustre de los antiguos lagos de Chalco y Xochimilco con una altitud de 2235 msnm. Hacia el norte presenta un relieve escarpado correspondiente a los volcanes de la sierra de Santa Catarina como son:

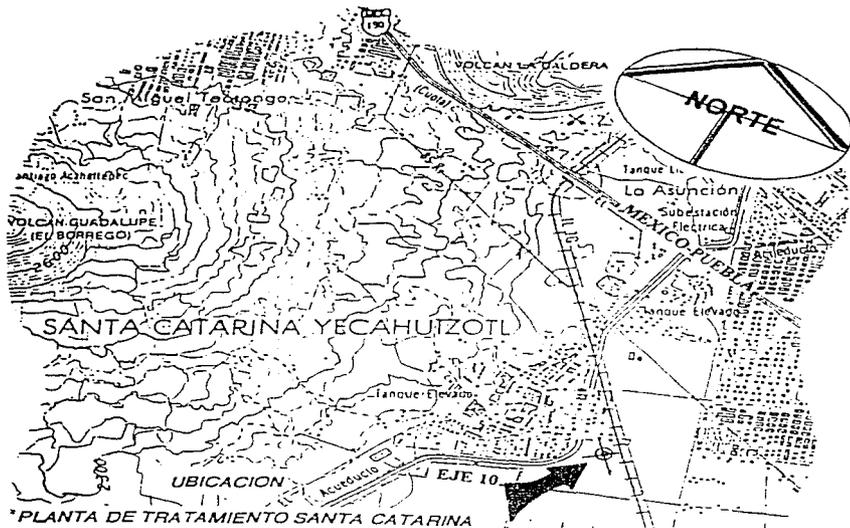


FIGURA 1.1 ZONA DE ESTUDIO EN LA DELEGACION TLAHUAC

**Xaltepec (2480 msnm), Guadalupe (2750 msnm) y el cerro Tetecon (2470 msnm) Hacia el Sur se presenta un relieve escarpado y de fuerte pendiente del volcan Teuhtli (2700 msnm) en la cima.**

En esta zona se encuentra el acuífero Xochimilco-Tlahuac-Chalco, correspondiente a este mismo valle, se recarga por las infiltraciones de agua de lluvia en las estribaciones de las sierras de Chichinautzin y Santa Catarina, que lo limita al norte y sur respectivamente. El flujo subterráneo se establece, primeramente, hacia el centro del Valle de Xochimilco-Chalco, donde antiguamente ocasionaban un nivel freático somero. Actualmente el nivel freático ha descendido, debido a la extracción del agua de pozos. El flujo subterráneo se establece primeramente hacia el centro del valle, para posteriormente circular hacia el poniente.

Las corrientes superficiales son escasas, intermitentes, de corta longitud, que desaparecen en la zona plana y baja debido a la alta permeabilidad del terreno, en las partes bajas existen algunas zonas inundadas que constituyen la zona de recarga de acuíferos someros y profundos. El agua superficial excedente se conduce a través de canales de riego y se drena artificialmente hacia las lagunas reguladoras del norte, en la ciénaga de Xochimilco, a través del canal de Chalco.

### **1.3.2 USO DEL SUELO**

**AREAS VERDES** - El índice de áreas verdes es de 2.8 m<sup>2</sup>/hab, llegando a ser de 8.8 m<sup>2</sup>/hab si se suman los parques nacionales. En este sector predominan las áreas verdes sobre camellones y glorietas. El uso de suelo dominante es el destinado a la agricultura, principalmente en las partes bajas y planas de la zona lacustre de la Delegación Tlahuac, y en una menor proporción en la parte baja de la sierra de Santa Catarina y del volcan Teuhtli, en la misma zona se encuentran áreas destinadas a la actividad pecuaria.

**USO FORESTAL.-** Las zonas de reserva ecológica se encuentran al norte de la Delegación, en la parte alta de la sierra de Santa Catarina, en donde se presentan pequeños bosques de encinos. Cabe recalcar que uno de los propósitos principales para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales es el de aprovechar el efluente en riego de una zona que se piensa desarrollar como área forestal lo que permite el aprovechamiento de agua con mayores concentraciones de sales que la empleada para riego de cultivos.

**USO HABITACIONAL.-** El corredor urbano va desde Santiago Zapotitlán hasta San Juan Ixtayopan. El equipamiento comprende: servicios administrativos delegacionales, escuelas hasta nivel medio superior, hospitales de zona, clínicas, centros deportivos, museos, un hospital psiquiátrico, dos panteones, un embarcadero y establos de ganado lechero, además de granjas avícolas y porcinas. La delegación cuenta con industria extractiva que obtiene y se beneficia del material volcánico no consolidado de los volcanes de la sierra de Santa Catarina, destinados a la industria de la construcción, y por otro lado existe la pequeña industria agropecuaria, que procesa productos lácteos y otros derivados.

### **1.3.3 POBLACION SERVIDA**

Para el establecimiento de los parámetros de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, es necesario conocer las tendencias de la población del área a servir en la Delegación Tlahuac.

En la figura 1.2 se presenta la distribución de la mancha urbana en la Delegación donde se observa que el uso habitacional es muy bajo en relación con el desarrollo agrícola de la zona considerándose gran parte de la población como rural.

De acuerdo con lo anterior se tiene una densidad de población en el área habitacional de 93 hab/ha. Con datos censales efectuados en 1960 y 1990 se realizó una proyección de población hasta el año 2010, como se puede observar en la tabla 1.3.

Con esto último y con base en el área de estudio (150.87 ha) se obtuvo que los habitantes con cobertura de alcantarillado son 14,016. Para el caso de Santa Catarina en la Delegación Tlahuac se estableció una dotación de 200 lts/hab/día, debido al incremento poblacional mostrado en la tabla 1.3. Con la tasa de crecimiento establecida y el incremento del caudal de aguas residuales que será captado por el sistema de tratamiento se estableció que la planta a diseñar tendrá una capacidad inicial de 50 lts/s asegurando la cobertura de tratamiento hasta el año 2000 donde será necesario adicionar un módulo de 25 lts/s para captar el crecimiento del gasto a largo plazo (2010).

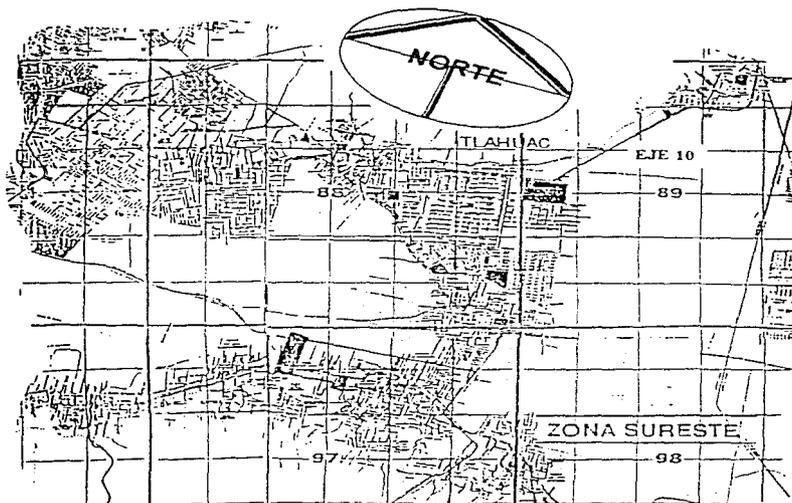


FIGURA 1.2 DISTRIBUCION URBANA EN LA DELEGACION TLAHUAC

DOTACIÓN: 200 lts/hab/día

POBLACIÓN REAL AREA SERVIDA 1992:

14,016

POBLACIÓN 1960: 29,980

POBLACION 1990:

206,688

CRECIMIENTO ANUAL: 0.64%

Años	Habitantes	Q (lts)
1990	14,016	25.96
1991	14,947	27.68
1992	15,939	29.52
1993	16,997	31.48
1994	18,126	33.57
1995	19,330	35.8
1996	20,613	38.17
1997	21,982	40.71
1998	23,441	43.41
1999	24,998	46.29
2000	26,658	49.37
2001	28,428	52.64
2002	30,316	56.14
2003	32,329	59.87
2004	34,475	63.84
2005	36,764	68.08
2006	39,205	72.6
2007	41,809	77.42
2008	44,585	82.56
2009	47,545	88.05

TABLA 1.3 PROYECTO DE POBLACION Y DETERMINACION DE GASTOS DE DISEÑO

## 1.4 SISTEMA DE ALCANTARILLADO

La zona en estudio cuenta con un sistema de drenaje combinado con dos descargas, el cual presenta las siguientes características: Una descargando hacia el oriente al dren general, y la otra hacia el sur al sistema de drenes que corresponde a la de mayor cobertura y por tanto a la que será canalizada hacia el sistema de tratamiento.

Se consideró la dotación en esta zona, tomando en cuenta el desarrollo de servicios y pequeñas industrias.

Debido a que la mayor parte del sistema de drenaje quedaria construido a una profundidad normalmente superior a la del nivel freático, se consideró un gasto medio de infiltracion de 0.0006 lts/m de tubería , un área servida de 150 ha y una población de proyecto de 17075 hab de la cual corresponden 15968 hab a la segunda descarga y el restante para la primera

El sistema de alcantarillado se considera casi completo y es un hecho que las obras inconclusas han provocado la captación de aguas freáticas. En un futuro próximo es prioritario definir la influencia de estas aguas freáticas pues de esto depende el tipo de tratamiento a adoptarse.

De acuerdo con las condiciones establecidas, para la segunda descarga se establecieron los gastos de aguas negras como sigue

Gasto Mínimo            18.5 lts/s

Gasto Medio            37.0 lts/s

Gasto Máximo        111.0 lts/s utilizando el coeficiente de Harmonm

El agua de lluvia se derivó igual a 3,094 lts/s de acuerdo con la intensidad de lluvia de 37.92 mm/hr, una duración de 60 min y un coeficiente de escurrimiento de 0.301. Estas condiciones se establecieron para un periodo de retorno de 5 años.

## **1.5 CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE TRATABILIDAD**

Aunque se consideró que el sistema de tratamiento sería diseñado para manejo de aguas negras provenientes de la población de Santa Catarina, durante una visita preliminar se pudo identificar que existía una interacción con agua freática y que también se identificaban algunas instalaciones como establos, que influyen directamente en la calidad de los desechos líquidos.

Por esta razón y para asegurar un diseño adecuado del proceso de tratamiento se consideró conveniente llevar a cabo una caracterización y unas pruebas de tratabilidad limitadas a establecer las principales características de las aguas residuales

### **1.5.1 CARACTERIZACION**

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede identificar una muy elevada concentración de materia orgánica, medida ya sea como masa , como solidos totales volátiles, como unidades de oxígeno o como DQO. La concentración de materia orgánica biodegradable es así mismo muy elevada para aguas negras, identificándose concentraciones que normalmente corresponden a desechos industriales. Debido a lo anterior se considera muy adecuado el empleo de procesos de tratamiento biológico para la depuración de estos desechos líquidos

De acuerdo con estas condiciones el efluente del sistema de tratamiento biológico contendría sólidos disueltos fijos cuyas concentraciones se consideran aceptables para que el efluente sea destinado a actividades de riego especialmente de plantas resistentes

Es conveniente destacar que la mayor parte de sólidos se encuentra en forma disuelta por lo que la aplicación de tratamiento primario tendría una muy limitada eficiencia en la depuración de estas aguas residuales. Finalmente cabe destacar que las concentraciones de organismos coliformes y estreptococos fecales se ubican en las cifras que normalmente se detectan para agua residual de tipo doméstico, esto implica una incorporación al subsuelo de desechos domésticos.

## 1.5.2 TRATABILIDAD

Se llevó a cabo una evaluación de la tratabilidad biológica bajo condiciones aerobias de los desechos líquidos, mediante la simulación de una planta de lodos activados; dicha planta piloto (vease figura 1.3), después de una serie de pruebas generó los siguientes resultados:

La materia orgánica contenida en las aguas residuales es degradable biológicamente a una alta tasa de metabolismo, lo que permite establecer que se podrán utilizar las constantes cinéticas identificadas en la literatura de agua residual de tipo doméstico.

Los demás parámetros evaluados reflejan así mismo la limitada concentración de microorganismos en el licor mezclado originando bajas tasas de consumo de oxígeno y una elevada concentración de sólidos suspendidos en el efluente provocada por la ineficiencia del sedimentador primario la cual se ve afectada por los efectos de nitrificación provocando la suspensión de lodos y acarreos en el efluente.

Ante los resultados obtenidos se pudo concluir que el comportamiento de tratamiento biológico no se apegaba estrictamente a las condiciones esperadas, lo que motivó profundizar en el análisis de estas posibilidades.

Se retomaron muestras de agua residual tratando en lo posible de eliminar el efecto de agua freática sometiéndolas a tratamiento biológico bajo condiciones aerobias y anaerobias observando únicamente la actividad biológica a nivel de consumo de oxígeno para la digestión aerobia y producción de gas para la digestión anaerobia. Estas evaluaciones cualitativas permitieron identificar que si bien existe el potencial de degradación biológico de la materia orgánica contenida en las aguas residuales las características propias de estos desechos líquidos provocan efectos negativos a la población microbiana. Esta característica es muy importante para poder definir el proceso de tratamiento más adecuado.

En principio aunque se tuvo eficiencia en la transformación de la materia orgánica bajo metabolismo anaerobio, la susceptibilidad de estos procesos a los cambios ambientales limita su utilización, por lo que no es recomendable. La aplicación de procesos de tratamiento de tipo aerobio resultaría más adecuado para tener un control más eficiente especialmente de las eficiencias requeridas para remoción de materia orgánica. Debido a los efectos negativos provocados por algunos contaminantes presentes en los desechos líquidos se recomienda que el proceso a emplear considere una población biológica activa y de preferencia tiempos de retención hidráulicos largos, asimismo es recomendable que el reactor se asemeje lo más posible a un régimen hidráulico completamente mezclado. Es recomendable por lo tanto la aplicación del proceso de lodos activados, especialmente aireación a contracorriente que con los largos tiempos de retención hidráulico y celular, podrá actuar adecuadamente hacia los efectos negativos de los desechos líquidos.

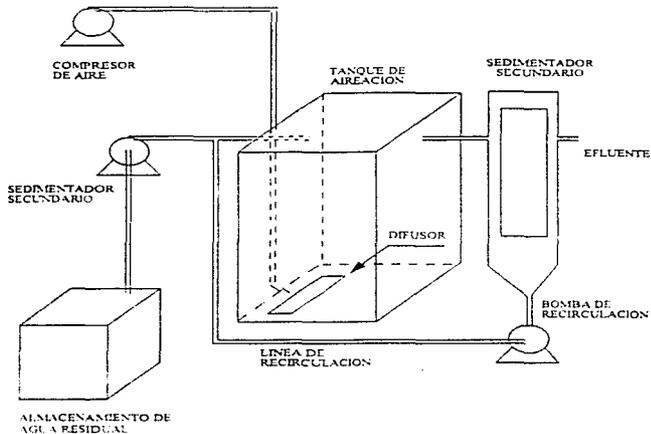


FIGURA 1.3 DIAGRAMA DE LA PLANTA PILOTO

## **CAPITULO 2**

# **EVALUACION DE OPCIONES DE TRATAMIENTO**

## **2. EVALUACION DE OPCIONES DE TRATAMIENTO**

De acuerdo con los resultados de caracterización y tratabilidad y tomando en cuenta las características económicas y técnicas prevalecientes en nuestro medio, es posible establecer que el tratamiento de las aguas residuales deberá ser biológico a nivel secundario. Existen varios esquemas de tratamiento que pueden ser aprovechados, sin embargo, de acuerdo con las condiciones físicas del terreno, las eficiencias requeridas y las características fisicoquímicas de los desechos líquidos, se eliminan la mayoría de las posibilidades.

Es conveniente resaltar que la evaluación de las diferentes opciones de tratamiento deberá realizarse considerando que cada uno de los procesos seleccionados debe alcanzar eficiencias semejantes y presentar condiciones similares de operación. Por esta razón los elementos de pretratamiento y manejo final de lodos de desecho se consideran iguales en las tres opciones evaluadas.

### **2.1. IDENTIFICACION DE OPCIONES VIABLES**

Dadas las condiciones de área y disponibilidad de terreno se consideró en principio la posibilidad de establecer un proceso de tratamiento económico como las lagunas de oxidación, cuya principal restricción es la gran demanda de terreno. Sin embargo las muy elevadas concentraciones de materia orgánica requerirían áreas demasiado grandes y con peligros potenciales de anaerobiosis lo que elimina prácticamente esta posibilidad. En esta misma circunstancia pueden eliminarse sistemas como lagunas aireadas parcial o totalmente mezcladas.

Por otro lado las ventajas de sistemas como filtros rociadores, y biodiscos se ven determinados por las condiciones topográficas extremadamente planas y las altas cargas orgánicas que podrían provocar diversos problemas.

Bajo estos criterios básicos es posible establecer que con base en las características y condiciones de tratabilidad de las aguas residuales y las eficiencias que deben alcanzarse para utilizar el efluente en riego de desarrollos forestales, será necesario utilizar un sistema de microorganismos en suspensión. En este caso específico por las altas cargas orgánicas es conveniente la posibilidad del empleo de tratamiento anaerobio.

El proceso más comúnmente empleado en la depuración de las aguas residuales municipales en la ciudad de México es el de lodos activados, ya sea en su modalidad convencional o completamente mezclado.

Este proceso es especialmente adecuado si se considera exclusivamente la depuración de los desechos líquidos ya que el manejo de los lodos de desecho requerirá su procesamiento mediante digestión biológica. Es obviamente el sistema que permitirá la máxima eficiencia de remoción de materia orgánica; es asimismo el proceso que ofrece mayores posibilidades de control mediante variaciones de tiempo de retención hidráulico y celular pero es también el proceso que demanda la mayor energía. Es necesario suministrar el oxígeno necesario para alcanzar la total estabilidad de la materia orgánica. Cabe destacar que una vez digeridos los lodos es posible su disposición final, ya sea en forma directa en terrenos agrícolas o después de espesamiento y/o deshidratación.

El sistema de lodos activados en su modalidad de Aireación extendida es aplicable en este caso principalmente por los gastos reducidos que se contemplan procesar. La eficiencia que se alcanza es un poco inferior a la que se puede obtener con el proceso convencional de lodos activados, sin embargo se espera que el efluente que se obtenga sea empleado para los fines planteados. Asimismo su operación ofrece menos posibilidades de control debido a que se tiene que operar a largos tiempos de retención celular, normalmente mayores a 15 días, lo que implica algunos problemas en la sedimentación secundaria. Los costos energéticos en este caso pueden considerarse muy semejantes a los requeridos para lodos activados al combinarse las condiciones de gastos reducidos y elevada concentración de materia orgánica.

Finalmente, como se mencionó anteriormente, es posible utilizar un proceso de tratamiento biológico bajo condiciones anaerobias para el tratamiento de los desechos a pesar de que es una tecnología de reciente aplicación en nuestro país. Los adelantos tecnológicos que involucran los lechos fluidizados ó más correctamente los microorganismos en suspensión, han logrado establecer tiempos de retención suficientemente cortos, cercanos a las 24 horas que implican reactores de tamaño adecuado para permitir que sean cubiertos y sellados. Las altas concentraciones de materia orgánica establecerían un costo de tratamiento muy por abajo de los costos que representan los tratamientos aerobios. Presentan sin embargo algunos problemas de control y eficiencia requiriendo en algunos casos personal más calificado que el que opera los procesos aerobios. En cuanto a la eficiencia se puede considerar que el efluente contendrá mayor concentración de materia orgánica que el efluente de un sistema de lodos activados, pero de cualquier forma aceptable para ser empleado en riego de áreas de reforestación.

Los lodos de desecho que son generados en proporciones mínimas pueden ser así mismo dispuestos en terrenos agrícolas o forestales. Finalmente es posible aunque poco probable la utilización de biogás producido.

## 2.2 DISEÑO CONCEPTUAL DE OPCIONES

A continuación se presenta una breve definición de los elementos que integran el tren de tratamiento de aguas residuales para los diferentes sistemas propuestos, así como el dimensionamiento de las unidades del proceso.

La capacidad de los sistemas de tratamiento se considera para módulos de 25 lts/s; aunque las unidades que son comunes consideran su operación en un principio para 50 lts/s y 75 lts/s para condiciones futuras. Es decir, se considera un pequeño sobrediseño para condiciones actuales y una pequeña sobrecarga para condiciones futuras.

En el caso particular que nos ocupa, tomaremos como datos de diseño los siguientes:

Población de proyecto	=	14.016.00 hab
Dotación	=	200.00 lts/hab/día
Aportación de aguas residuales	=	160.00 lts/hab/día
<b>Gastos actuales:</b>		
Gasto mínimo	=	25.00 lts/s
Gasto medio	=	50.00 lts/s
Gasto máximo	=	130.90 lts/s
<b>Gastos futuros:</b>		
Gasto mínimo	=	37.50 lts/s
Gasto medio	=	75.00 lts/s
Gasto máximo	=	183.10 lts/s

### 2.2.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR

Previo al dimensionamiento de los elementos es conveniente destacar que por las condiciones físicas del emisor y el terreno donde se ubicará el sistema de tratamiento se establecen dos alternativas para el manejo inicial del influente. Para protección de las bombas es necesario establecer un canal de rejas y canales desarenadores previos al cárcamo de bombeo. Dadas las profundidades a que se localiza el emisor, la estructura requerida será profunda y con un alto costo de construcción.

Las dos posibilidades de construcción del pretratamiento son, una, en colocar el desarenador junto al emisor en una zona cercana y desde ahí enviar por presión el agua residual hasta el sitio donde se ubicara la planta como esquemáticamente se muestra en la figura 2.1. La segunda posibilidad consiste en conducir las aguas residuales que van a ser sometidas a tratamiento mediante un conducto a mayor profundidad que la plantilla del emisor actual, haciendo fluir el desecho por gravedad hasta las instalaciones del pretratamiento dentro del predio destinado para la planta como se muestra en la figura 2.2.

La principal ventaja de la primera opción es un menor costo y mejores condiciones constructivas, ya que el conducto que se considera en la opción 2 tendrá dificultades de construcción y por la pendiente requerida, las instalaciones de pretratamiento estarán a mayor profundidad. Sin embargo, la gran desventaja de la primera alternativa es que se establecerían dos unidades de operación: una el pretratamiento y otra la planta de tratamiento. Estableciéndose algunos problemas operativos y de mantenimiento.

De acuerdo con los esquemas normalmente establecidos por la DGCOH se recomienda el tener el pretratamiento conjuntamente con las unidades de tratamiento incrementando el costo de inversión inicial pero disminuyendo costos operativos.

## CANAL DE REJAS

Es la primera operación unitaria que se encuentra en una planta de tratamiento, consiste en una estructura con aberturas, generalmente de tamaño uniforme que sirve para retener los sólidos gruesos que se encuentran en las aguas residuales. Su limpieza puede ser manual o mecánica. Su objetivo principal es proteger las bombas, válvulas y tuberías.

La velocidad tiene que mantenerse entre valores que no permitan la sedimentación de partículas discretas o que empujen a los sólidos blandos a través de la rejilla, lo anterior se logra manteniendo una velocidad entre 0.60 y 0.9 m/s. La inclinación de las rejillas debe ser de 30 a 60 grados para la limpieza manual y ángulos mayores para limpieza mecánica.

Considerando el canal de entrada de 0.60 m de ancho, se tienen las siguientes dimensiones para las barras

Separación entre barras	2.00 cm
Ancho de la barra	2.50 cm
Espesor de la barra	0.60 cm
La velocidad recomendada a través de la rejilla es de 0.60 m/s	

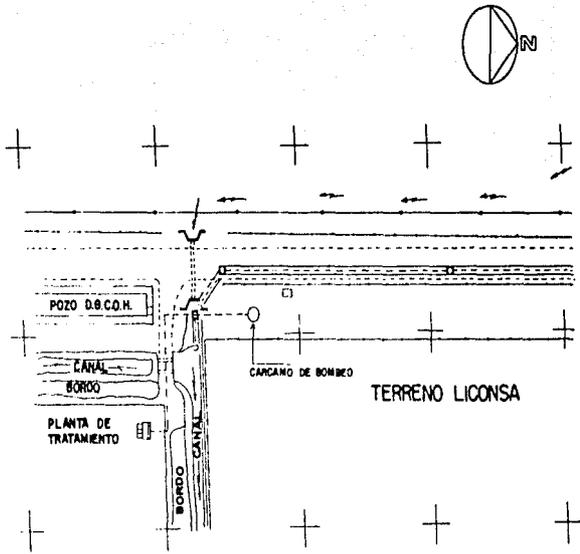


FIGURA 2.1 OPCION 1 PARA EL PRETRATAMIENTO

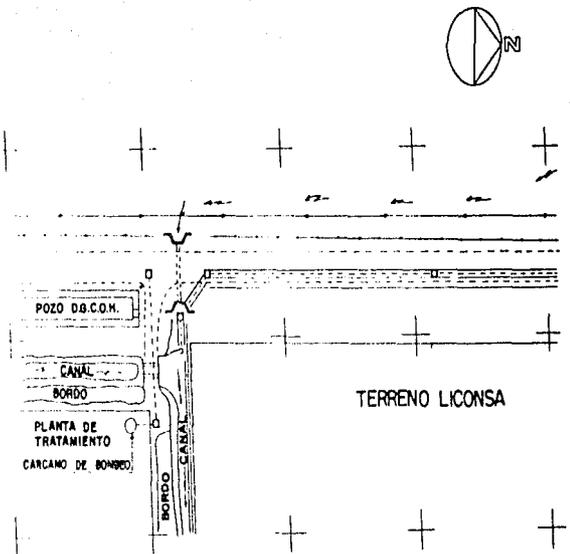


FIGURA 2.2 OPCION 2 PARA EL PRETRATAMIENTO

## DESARENADORES

La presencia de arenas es común en un sistema de drenaje combinado, por lo que la misión de los desarenadores es separar arenas, término que engloba a las arenas propiamente dichas y a la grava, cenizas y cualquier material pesado que tenga velocidad de sedimentación. Los desarenadores deberán proteger los equipos mecánicos móviles de la abrasión y desgastes anormales, reducir la formación de depósitos en las tuberías, canales y conductos, figura 2.5.

## DISPOSICION DE ARENAS

En el pretratamiento es de suma importancia dar mantenimiento a los canales desarenadores para evitar una disminución de velocidad en el flujo, acumulación de arena en el tanque primario o en el cárcamo de lodos. La limpieza de las cámaras desarenadoras se deberá llevar a cabo por medio de una bomba de aire tipo AIR LIFT, las arenas serán recolectadas en una caja donde se eliminará el exceso de agua para su disposición final.

## CARCAMO DE BOMBEO

El efluente proveniente de los canales desarenadores se acumulan en un cárcamo de bombeo. En esta unidad el agua residual será bombeada a una caja de distribución. Las bombas identificadas y que sirven de base para la evaluación de costos son: FAIRBANKS 4" 5412 K ó similares las cuales podrán manejar el gasto mínimo de 25 lts/s y moduladas al gasto máximo de 183 lts/s.

De acuerdo con los datos del proyecto es necesario elevar el agua de la cota 93.774 m que presenta la plantilla de fondo hasta la 105.50 m que corresponde a la altura de los terraplenes.

Tomando en cuenta la pérdida de carga, el desnivel que hay que vencer es de aproximadamente 12 metros. Se considera adecuado el utilizar un sistema de bombas verticales tipo turbina.

Las dimensiones del cárcamo de bombeo son:

Volumen útil	=	35.34 m <sup>3</sup>
Profundidad útil	=	1.80 m
Diámetro	=	5.00 m
Area	=	19.63 m <sup>2</sup>

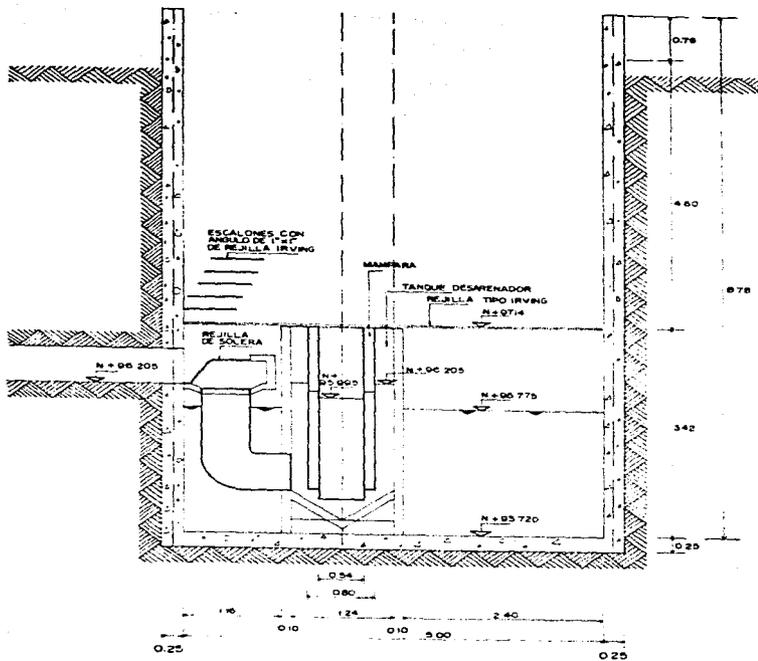


FIGURA 2.3 CARCAMO DE BOMBEO

## CAJA RECEPTORA

El influente es conducido por una tubería de 30 cm de diámetro y es descargado a una caja receptora por la parte inferior de la misma. Esta caja de concreto está integrada a la caja de distribución y solo existe un muro divisorio con orificios en "tres bolillo" que ayuda a obtener un flujo uniforme que permite el control adecuado del caudal hacia las subsiguientes unidades de tratamiento. El muro se considera de tabique de 14 cm de espesor y 7 cm de altura por hilera que serían las medidas de los orificios.

## CAJA DE DISTRIBUCION

La caja de distribución es una estructura de concreto que mediante compuertas de deslizamiento vertical canaliza el caudal de aguas residuales a tratar hacia cada uno de los módulos de tratamiento. La principal unidad de operación de este elemento es una velocidad de flujo suficiente que impida la sedimentación de sólidos suspendidos pero que establezca un flujo uniforme que permita el control efectivo de los caudales enviados a cada módulo.

Q max	=	183.13 lts/s
Volumen	=	10.98 m <sup>3</sup>
Altura	=	2.00 m
Area	=	5.49 m <sup>2</sup>
Ancho establecido	=	3.00 m
Largo	=	1.83 m

## MEDIDOR PARSHALL

El medidor Parshall puede considerarse como parte integral de los canales de distribución. Los medidores Parshall son las estructuras que permiten la cuantificación de gastos que están pasando por los canales, los cuales estarán controlados por las compuertas de la caja derivadora. La consideración de diseño de estos elementos está en función de los gastos mínimos y máximos bajo los cuales va a operar. En la tabla 2.1 se presenta el dimensionamiento de esta unidad.

W(cm)	A(cm)	2/3A(cm)	B(cm)	C(cm)	D(cm)	E(cm)	H(cm)
76	46.7	31.1	45.7	17.8	25.4	61.0	15.2

G(cm)	K(cm)	N(cm)	R(cm)	M(cm)	P(cm)	T(cm)	V(cm)
30.5	2.5	5"	40.6	30.5	76.8	2.5	15.8

Omn.(ts.)	Oma.(ts.)	Ha(cm)	Hb(cm)	Hb-Ha	Q(m <sup>3</sup> /s)	FACTOR CORR
37.5	183	11.02	0.25	0.02	6.46	1.1

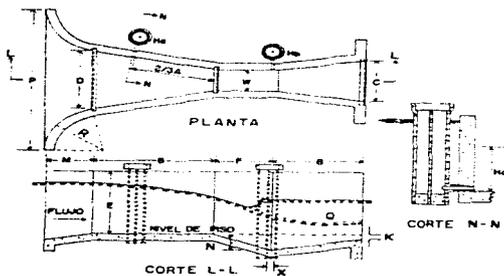


TABLA 2.1 DIMENSIONES DEL CANAL PARSHALL

## 2.2.2 LODOS ACTIVADOS

En la figura 2.4 se presenta el tren de tratamiento para esta opción con el objeto de profundizar el análisis y formar una idea de la estructura geométrica de los módulos.

### TRATAMIENTO PRIMARIO

La remoción de los sólidos sedimentables de las aguas residuales, se realiza mediante el proceso de sedimentación. La diferencia de gravedad específica entre los sólidos sedimentables y el agua, origina que los sólidos se precipiten en el fondo de un tanque en condiciones no turbulentas. También tiene como propósito eliminar grasas y aceites flotantes.

#### SEDIMENTADOR PRIMARIO

El tanque de sedimentación primaria es de forma circular con alimentación central. Una mampara radial concentra y distribuye uniformemente el influente en todas direcciones. Los sedimentadores se diseñaron con fondos de pendientes ligeras. Estas pendientes facilitan el drenaje de la unidad y ayudan a la remoción de lodos que se encuentran en el fondo del sedimentador. Dichos lodos pasan a un espesador y/o a un digestor aerobio y/o a un filtro de vacío antes de su disposición final.

Cs	=	24.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Volumen	=	234.00 m <sup>3</sup>
Area	=	90.00 m <sup>2</sup>
Altura	=	2.60 m
Tiempo de retención	=	2.60 hr
Diámetro	=	10.70 m

#### TANQUE DE AIREACION

En la tabla 2.2 se presentan las condiciones de operación del reactor de lodos activados a diferentes tiempos de retención hidráulica y 5 días de tiempo de retención celular.

Km	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328
t	6	8	10	12	14	18	24
DBO <sub>5</sub> Efluente	46.26	42.29	39.88	38.26	37.1	35.54	34.17
t	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
F	16.26	12.29	9.88	8.26	7.1	5.54	4.17
Ma	2008.35	1518.51	1220.76	1020.64	876.88	684.16	514.54
Me	964.01	728.88	585.97	489.91	420.9	328.4	246.98
Mi	4,962.00	3721.5	2977.2	2,481.00	2126.57	1654	1240.5
Mii	1289.24	968.74	775.87	647.05	554.92	431.92	324.15
Mi(SSLM)	9223.59	6937.63	5559.8	4638.6	3979.28	3098.48	2326.16

**TABLA 2.2 CONDICIONES DE OPERACION DE REACTOR DE LODOS ACTIVADOS A DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCION HIDRAULICA Y CINCO DIAS DE RETENCION CELULAR**

Volumen	= 720.00 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	= 8.00 hr
Demanda bioquímica de oxígeno	= 465.00 mg/lts
Dimensiones del tanque:	
Estableciendo una profundidad	= 4.00 m
Volumen	= 720.00 m <sup>3</sup>
Area	= 180.00 m <sup>2</sup>
Ancho	= 8.50 m
Largo	= 21.20 m

#### EQUIPO DE AIREACION

De acuerdo con las características del agua residual se requiere de dos aireadores superficiales que en principio pueden considerarse similares a LIGHTNIN MOD. LAR 130 (780-Q-50) con motor TCCV tropicalizado de 50 HP.

#### SEDIMENTADOR SECUNDARIO

La sedimentación secundaria es el último paso en la clarificación del agua residual, por lo que su misión es la de separar las partículas sedimentables del licor mezclado por diferencia de gravedad. El tanque es de forma circular con un mecanismo giratorio para transportar y arrastrar los lodos del fondo, los cuales son arrastrados para su recirculación.

Cs	= 24.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Volumen	= 234.00 m <sup>3</sup>
Area	= 90.00 m <sup>2</sup>
Altura	= 2.60 m
Tiempo de retención	= 2.60 hr
Diámetro	= 10.70 m

### CÁRCAMO DE LODOS

Los lodos secundarios deben ser retornados una parte al tanque de aireación y el resto del volumen de desecho a procesamiento mediante espesamiento y digestión. Se requiere por lo tanto un cárcamo de bombeo para manejar un gasto entre 0.5 y 1.5 veces el gasto de entrada a la planta.

### ESPEADOR

En la mayoría de los procesos de tratamiento primarios así como secundarios, se producen lodos, de los que hay que deshacerse en forma adecuada. El espesamiento es el primer paso normal en los procesos de evacuación de lodos. Dentro de las ventajas del espesamiento esta el mejorar el funcionamiento del digestor, reducir el volumen de lodos antes de la evacuación al terreno y mejorar los costos de los sistemas de deshidratación.

Altura	= 2.40 m
Area	= 55.50 m <sup>2</sup>
Diámetro	= 8.30 m
Volumen	= 133.20 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	= 1.22 días
SST	= 238.50 mg/lts
CS	= 39.00 kg/m <sup>2</sup> /día

De la tabla 2.2 se tiene que MT (SSLM) para un tiempo de retención de 14 hrs. es de 3,997 ml/lts, entonces:

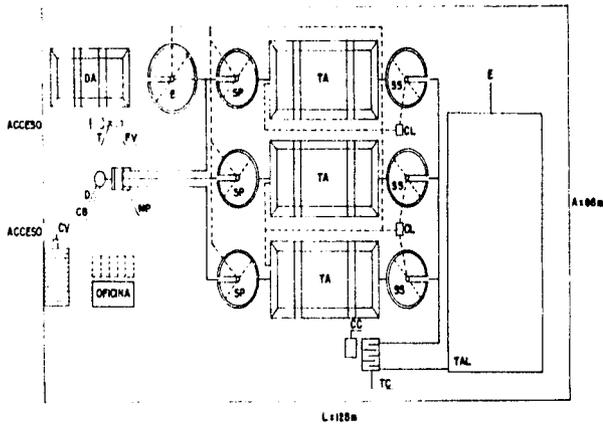
Para Q=25 lts/s

Volumen de lodos de desecho=  $(1,260 \times 3,997 \times 10^{-1} \times 1000) / 5 = 1,007.2 \text{ kg/día}$

Para Q=75 lts/s

Volumen de lodos de desecho =  $1,007.2 \times 3 = 3,021.7 \text{ kg/día}$ .

Considerando el 60% de los sólidos suspendidos para Q=25 lts/s  
 SST=(238.50\*0.60)=143.1 mg/lts



NOMENCLATURA

- D Desarenador
- DA Digestor aerobio
- CB Cárcamo de bombeo
- CD Caja de distribución
- MP Medidores parshall
- SS Sedimentador secundario
- SP Sedimentador primario
- TA Tanque de aireación
- CL Cárcamo de lodos
- CC Caseta de cloración
- T Tolva
- TC Tanque de cloración
- TAL Tanque de almacenamiento
- E Espesador
- FV Filtro de vacuo
- CV Caseta de vigilancia

SIMBOLOGIA

- Flujo hidráulico
- Opción 1 Disposición de lodos
- ..... Opción 2 Disposición de lodos

Superficie = 8.125 m<sup>2</sup>

FIGURA 2.4 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

Para Q	=	75.00 lts/s
SST	=	429.30 mg/lts
SST	=	927.28 kg/día

Volumen total de desechos por día =  $3.021,7 + 927,28 = 3.948,98$  kg/día

Considerando una concentración de 3% se tiene:

Q	=	$3948,98/0,03$	=	131.632.70 lts/día
Area	=	$3.948,98/39$	=	01.20 m <sup>2</sup>
Diámetro			=	11.35 m

## DIGESTOR AEROBIO

Es un proceso en el cual se produce una aireación por un periodo significativo de tiempo, de una mezcla de lodo digerible de la clarificación primaria y lodo del tratamiento biológico aerobio, con el resultado de una destrucción de células, y una disminución de sólidos en suspensión volátiles.

El objetivo de la digestión aerobia es reducir el total de lodos que se debe evacuar posteriormente. Esta reducción es el resultado de la conversión, por oxidación de una parte sustancial del lodo en productos volátiles.

Considerando una concentración del 7% de lodos que van al digestor:

TR	=	17.00 días		
Q	=	$(3948,98/0,07)$	=	56.414.00 lts/día
Volumen	=	$(56,414*17)/1000$	=	959.04 m <sup>3</sup>
Area	=	$959,04/5$	=	191.80 m <sup>2</sup>
Ancho	=		=	9.80 m
Largo	=		=	19.60 m
Altura	=		=	5.00 m

## FILTRACION DE VACIO

La filtración de vacío es una operación que generalmente se lleva a cabo en un tambor cilíndrico rotatorio, cuya superficie la constituye un medio filtrante que puede ser de algodón, fibra sintética ó una malla de alambre de acero. El tambor filtra los lodos mediante la aplicación de vacío en la superficie del filtro. El agua es forzada a pasar a través del material filtrante, se colecta y bombea hacia el sedimentador primario.

Los sólidos se recogen en la superficie del filtro y se desecan más cuando el tambor gira. Cerca del final del ciclo, la torta de los sólidos se remueve para depositarse en una tolva.

P=585 mm Hg  
considerando el 50% de inmersión:

Humedad	=	75%
Tiempo de secado	=	.0.7 min
F <sub>1</sub> =0.2 (tiempo de lavado 20% del total del ciclo)	=	
f =factor de seguridad	=	.0.90
C <sub>r</sub> =carga del filtro	=	28.40
C <sub>c</sub> =carga del ciclo	=	28.40*0.50 = 14.20

Area de diseño:

A= kg/h de sólidos a separar / (fxC<sub>c</sub>)  
A= (3935.68/24)/(0.9\*14.20) = 12.83 m<sup>2</sup>

Por lo tanto se proponen dos filtros de vacío cuyas dimensiones son:

Diámetro	=	1.00 m
Largo	=	2.10 m

## 2.2.3 AIREACION EXTENDIDA

### A).- CONVENCIONAL

En la figura 2.5 se presenta la distribución de las unidades que conforman el sistema de tratamiento para la opción propuesta de aireación extendida convencional.

### TANQUE DE AIREACION

Esta es la unidad en la que realmente se inicia el tratamiento, ya que no se considera la sedimentación primaria. Las características del tanque de aireación que se propone permiten suponer condiciones de mezclado que se encuentran entre el sistema convencional y completamente mezclado. De acuerdo con esta condición y tomando en consideración que no se cuenta con sedimentación primaria y suponiendo condiciones adecuadas de transferencia de oxígeno, en la tabla 2.3 se presentan las condiciones de operación del reactor de aireación extendida a diferentes tiempos de retención hidráulica y 20 días de tiempo de retención celular.

Ran	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328
R	16.00	18.00	24.00	36.00	48.00
DIBO <sub>2</sub> Efluente	36.22	33.54	34.17	32.78	32.09
t	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80
F	6.22	5.54	4.17	2.78	2.09
Ma	986.16	877.79	660.16	441.32	331.45
Me	1,893.43	1,685.36	1,267.51	847.34	636.38
Mi	7,443.00	6,616.00	4,962.00	3,308.00	2,481.00
Mu	1,775.96	1,578.98	1,184.77	799.20	592.78
Mt(SSLM)	12,098.36	10,758.14	8,074.43	5,386.86	4,041.61

**TABLA 2.3 CONDICIONES DE OPERACION DE REACTOR DE AIREACION EXTENDIDA  
A**

**DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCION HIDRAULICA Y 20 DIAS DE  
RETENCION CELULAR**

Volumen del reactor	=	4,320.00 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	=	48.00 hr
Demanda química de oxígeno	=	675.00 mg/lts
Dimensiones del tanque:		
Profundidad establecida	=	4.50 m
Area	=	960.00 m <sup>2</sup>
Considerando relación de 2:1 se tiene		
Ancho	=	22.00 m
Largo	=	43.80 m

**SEDIMENTADOR SECUNDARIO**

Debido a que es un sistema de tratamiento en que no se cuenta con sedimentador primario, se considera que el diseño del sedimentador secundario debe ser conservador por lo que tendrá una carga superficial baja.

Este tanque es circular y tiene la particularidad de contar con un sistema de rastras, las cuales tienen la función de barrer los sólidos asentados en el fondo hasta el conducto que desaloja a éstos. Con esta sedimentación se pretende separar los sólidos suspendidos sedimentables del agua provenientes del tanque de aireación.

C <sub>s</sub>	=	15.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Area	=	153.93 m <sup>2</sup>
Diametro	=	14.00 m
Profundidad	=	4.25 m
Tr	=	4.32 hr

## CARCAMO DE LODOS

La recirculación se realiza mediante un cárcamo de bombeo, el cual tiene por objetivo llevar los lodos extraídos del sedimentador al tanque de aireación. Con esta recirculación de lodos se pretende aumentar el número de microorganismos y mantener una cierta proporción de ellos con la materia orgánica alimentada al sistema. Así mismo de este cárcamo de bombeo se llevarán los lodos al espesador y/o filtro de vacío para su disposición final.

## ESPEADOR

Vol. tanque de aireación	=	4,320.00 m <sup>3</sup>
Tr celular	=	20.00 días
SST	=	238.50 mg/lts
Cs	=	39.04 kg/m <sup>2</sup> /día

De la tabla 2.3 se tiene que MT (SSLM) para un tiempo de retención de 48 hrs es de: 4041.61mg/lts, entonces:

$$\text{Para } Q = 25 \text{ lts/s} \\ \text{Volumen de lodos de desecho} = (4,320 * 4.0416 \times 10^{-3} * 1,000) / 20 = 872.98 \text{ kg/día}$$

$$\text{Para } Q = 75 \text{ lts/s} \\ \text{Volumen de lodos de desecho} = 872.98 \text{ kg/día} * 3 = 2,618.94 \text{ kg/día}$$

Considerando una concentración de 3% se tiene:

$$Q = 2618.94 / 0.03 = 87,298.00 \text{ lts/día} \\ \text{Area} = 2618.94 / 39.04 = 67.08 \text{ m}^2 \\ \text{Diámetro} = 9.24 \text{ m}$$

## FILTRO DE VACIO

Considerando el mismo procedimiento que para lodos activados.

P = 585 mm Hg

Para el 50% de inmersión:

$$\text{Humedad} = 75.00\% \\ \text{Tiempo de secado} = 0.70 \text{ min} \\ f = 0.2 \text{ (tiempo de lavado 20\% del total del ciclo)} \\ f = \text{Factor de seguridad} = 0.90 \\ CF = \text{Carga del filtro} = 28.40 \\ Cc = \text{Carga del ciclo} = 28.40 * 0.50 = 14.20$$

Area de diseño:

$$A = \text{kg/h de sólidos a separar} / (f \cdot C_c) \\ A = (2.6 \cdot 18.94 / 24) / (0.9 \cdot 14.20) = 8.50 \text{ m}^2$$

Por lo tanto se proponen dos filtros con las siguientes dimensiones:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro} &= 0.70 \text{ m} \\ \text{Largo} &= 2.10 \text{ m} \end{aligned}$$

## B).- EN CONTRACORRIENTE

Para este proceso se requiere de un tanque de aireación circular con un clarificador secundario circular separado y bombas de retorno de lodos. En el reactor de aireación el oxígeno es soplado en el licor mezclado mediante los difusores que estarán montados en un puente viajero, la rotación del puente imparte movimiento circular al licor mezclado y los deflectores son usados para controlar este movimiento, en la fig. 2.6 se presenta la distribución del tren de tratamiento.

### TANQUE DE AIREACION

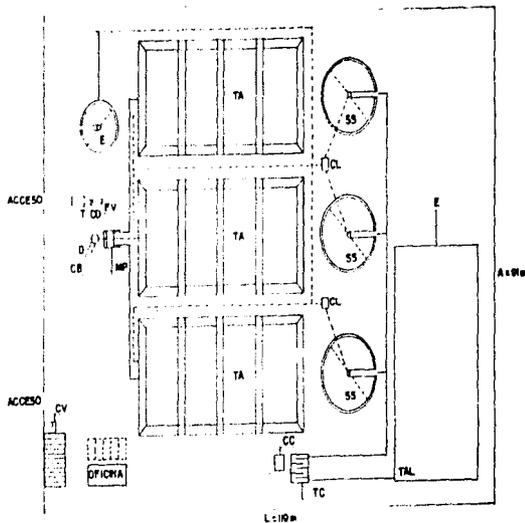
Volumen del reactor	=	3,670.00 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	=	40.80 hr
Profundidad	=	4.50 m
Area superficial	=	1,695.00 m <sup>2</sup>
Diámetro interno	=	14.00 m
Diámetro externo	=	36.00 m

### SEDIMENTADOR SECUNDARIO

Diámetro	=	14.00 m
Profundidad	=	4.25 m
Area superficial	=	153.90 m <sup>2</sup>
Volumen	=	654.00 m <sup>3</sup>
Carga superficial	=	0.58 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /hr
Tiempo de retención hidráulico	=	7.27 hr

### RECIRCULACION DE LODOS

La recirculación se realiza mediante una bomba de tornillo de inclinación ajustable con capacidad de 23 lts/s



### NOMENCLATURA

D	Desarenador
CB	Carcamo de bombeo
CD	Caja de distribución
MP	Medidores parshall
TA	Tanque de aireación
SS	Sedimentador secundario
CL	Cárcamo de lodos
CC	Caseta de cloración
T	Tolva
TC	Tanque de cloración
TAL	Tanque de almacenamiento
E	Espesador
FV	Filtro de vacío
CV	Caseta de vigilancia

### SIMBOLOGÍA

- Flujo hidráulico
  - Opción 1 Disposición de lodos
  - Opción 2 Disposición de lodos
- Superficie = 10.829 m<sup>2</sup>

FIGURA 2.5 SISTEMA DE TRATAMIENTO AIREACION EXTENDIDA

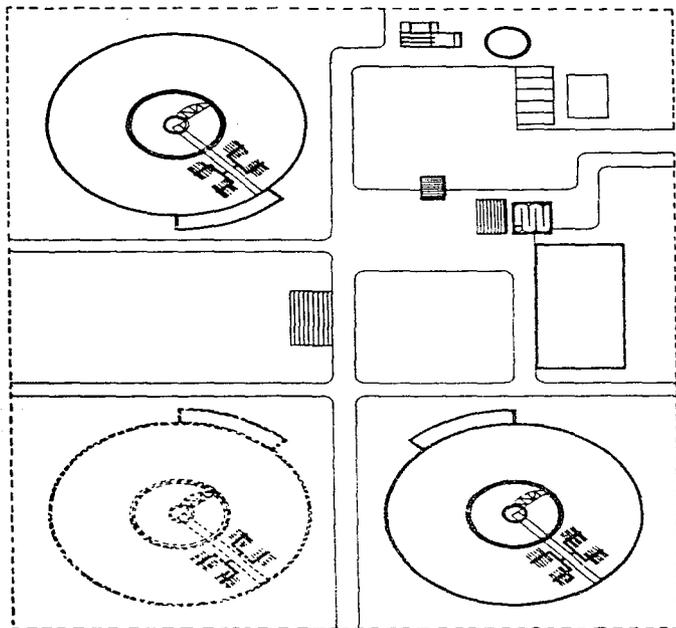


FIGURA 2.6 SISTEMA DE TRATAMIENTO AIREACION EN CONTRACORRIENTE

## ESPEADOR

Es recomendable la construcción de un arco externo al diámetro del tanque de aireación.

Ancho	=	3,00 m
Profundidad	=	4,25 m
Longitud del arco	=	15,97 m
Volumen de lodos alimentados al espesador	=	61,40 m <sup>3</sup> /día
Cantidad de lodos extraídos	=	928,00 kg/día

## CENTRIFUGA

Decantadora centrífuga horizontal de operación continua con tornillo transportador de sólidos con capacidad de 1,000 lts/hr - 6,000 lts/hr; potencia del motor de 11 kw.

### 2.2.4 PROCESO ANAEROBIO

El proceso de degradación anaerobia es una alternativa interesante ya que se da naturalmente en condiciones de anaerobiosis y ausencia de luz y compuestos oxidantes como lo son nitratos y los sulfatos. No requiere aireación. A través del consumo de materia orgánica presente en el efluente reduce sensiblemente las demandas químicas y bioquímicas de oxígeno del mismo.

Los reactores anaerobios representan un ecosistema donde diversas bacterias transforman compuestos orgánicos complejos a metano y anhídrido carbónico.

El reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB) el cual tiene flujo de alimentación ascendente, permite una selección de microorganismos y favorece la formación de un lodo con buenas propiedades de floculación y sedimentación que da como resultado una cama de lodos en la parte inferior del reactor. El reactor UASB procura eliminar las necesidades de agitación mecánica mediante una adecuada repartición de las entradas de agua en la base. Por otro lado, posee un colector de gas en la parte superior, que asegura la separación de líquidos, gases y sólidos. Su principal característica es el manto de lodos muy activo del cual se suceden tiempos de retención del orden de hasta 5 días, eficiencias de hasta 95%, y cargas orgánicas muy altas hasta de 50 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/día.

**Las características del reactor son:**

<b>Diámetro</b>	=	9.57 m
<b>Area</b>	=	72.00 m <sup>2</sup>
<b>Altura</b>	=	5.00 m
<b>Volumen</b>	=	360.00 m <sup>3</sup>
<b>Tiempo de retención</b>	=	8.00 hr

Por lo tanto las ventajas más atractivas de los reactores anaerobios que justifican su adopción en México son:

- 1.- **Sistemas relativamente simples con requerimientos de equipo limitado (construcción).**
- 2.- **Ahorro de costos en consumo energético y producción de CH<sub>4</sub> (Metano).**
- 3.- **La limitada producción de lodos de desecho que ya están debidamente estabilizados con el consecuente ahorro en el sistema de tratamiento de lodos.**
- 4.- **Menor requisito de nutrientes.**
- 5.- **Cargas superiores a las empleadas en lodos activados.**
- 6.- **Resistencia a periodos sin alimentación.**

Y dentro de las desventajas de su uso tenemos:

- 1.- **Mayor tiempo de retención.**
- 2.- **Mayor costo en la construcción del reactor.**
- 3.- **Emisión de olores.**
- 4.- **Requiere precalentamiento. (35°C)**
- 5.- **Requiere postratamiento. (dependiendo del rehuso)**
- 6.- **La operación de las unidades es mas complicada. (sensibles)**
- 7.- **Falta un inoculo adecuado.**
- 8.- **Su aceptación es limitada a nivel general.**

Además los requerimientos básicos debidos a las dimensiones de las unidades y características de los equipos son:

<b>Area</b>	=	5000.00 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad de suelo</b>	=	alta
<b>Energia eléctrica</b>	=	83.00 kw
<b>Topografía conveniente</b>	=	plana

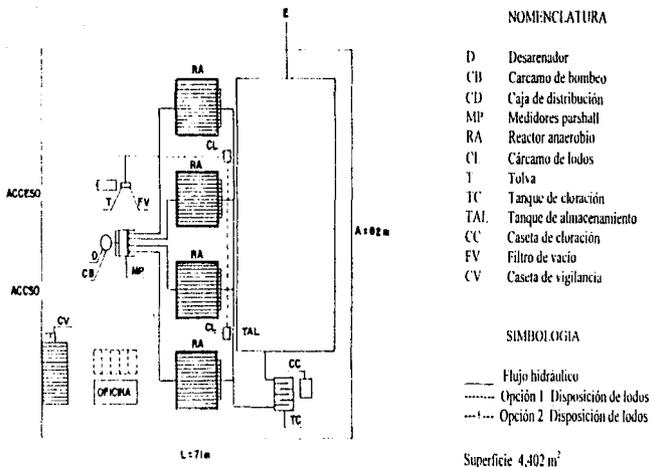


FIGURA 2.7 SISTEMA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO

## 2.2.5 EQUIPO DE CLORACION

### TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

La desinfección cuando se aplica a tratamientos de aguas residuales implica la destrucción de organismos patógenos y puede efectuarse haciendo uso de agentes químicos que para este caso será el gas cloro.

Esta operación se realizará adicionando una solución de gas cloro al efluente del sedimentador secundario mediante una bomba dosificadora y a través de una tubería que va hacia la cámara de contacto de forma rectangular.

Dentro de la cámara de contacto el efluente se almacenará durante un tiempo preestablecido que depende del flujo o gasto.

#### TIEMPO DE CONTACTO

Para $Q_1 = 50$ lts/s	$T_{c1} = 20.00$ min
Para $Q_2 = 75$ lts/s	$T_{c2} = 13.30$ min

Las características del tanque de contacto son:

Ancho del tanque	= 5.40 m (que incluye cuatro muros divisorios de 0.1 m c/u)
Altura total	= 3.00 m
Bordo libre	= 0.40 m
Altura efectiva	= 2.40 m
No. de canales	= 5.00 pza
Largo de canal	= 6.20 m
Velocidad en canal	= 0.03 m/s

#### TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para fines del anteproyecto y dado que la utilización de las aguas será un reuso agrícola, el efluente se conducirá a un tanque de almacenamiento del cual se tienen las siguientes dimensiones:

Largo	= 24.84 m
Ancho	= 12.42 m
Area	= 1.620.00 m <sup>2</sup>
Altura	= 3.50 m
Volumen	= 6.480.00 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	= 4.00 hrs

Por último se considera la construcción de oficinas, cuartos de control y un laboratorio para análisis elementales, además de un taller de mantenimiento para la reparación de equipo electromecánico, y una subestación eléctrica para la operación de la propia planta.

## 2.3 ANALISIS DE COSTO

Una vez identificados los elementos que integran los trenes de tratamiento se procederá a definir los costos de inversión, operación y mantenimiento que haran posible la comparación entre los diferentes sistemas. La base de análisis se logrará a partir de los costos índice tratando de incorporar costos específicos en su totalidad. Se destacara que para cada proceso se consideran tres diferentes opciones para el manejo de los lodos de desecho: Una que es la disposición directa en terrenos adyacentes a la planta; la segunda que considerará el transporte de lodos espesados mediante pipas y la tercera que supone el transporte de lodos deshidratados a nivel filtros de vacío. Para todos los casos se considerara un lodo estabilizado biológicamente que no provocara problemas en su disposición.

### 2.3.1 COSTOS DE INVERSION

A continuación se presenta de manera resumida los costos de inversión para los trenes de tratamiento ya mencionados distinguiendo de estos costos los requeridos para obra civil y los correspondientes electromecánicos, además se incluyen los montos correspondientes al manejo de lodos de desecho. Todos los costos tienen vigencia de agosto de 1996. Inicialmente tenían vigencia de mayo de 1993 pero los precios unitarios fueron actualizados tomando en cuenta cotizaciones de todos los insumos a la vigencia antes mencionada.

De acuerdo a la tabla 2.4 se puede observar que la mayor inversión la representa la planta de lodos activados que de acuerdo a lo estimado es el 50% mas cara que la digestión anaerobia, influyendo de gran manera el manejo de lodos de desecho pues incluye la digestión aerobia, el espesamiento y la deshidratación mediante filtros de vacío.

En dicha tabla se incluye el costo anual que corresponde a cada inversión, tomando un tasa de interés anual del 18%, una vida útil de la planta de 30 años y un valor de rescate mínimo.

$$\text{Costo Capital Anual} = \text{TIC} * i ( ( 1+i)^{NP} / ( 1+i)^{NP} - 1 )$$

donde:

- TIC** = Total inversión de construcción.  
**i** = Tasa de interés anual.  
**NP** = Numero de periodos en el que se pagará la planta.

En las tablas 2.5 y 2.6 se establecen los costos tanto de inversión como de operación sin considerar en principio la deshidratación de los lodos mediante filtros de vacío y finalmente los costos considerando que los lodos serán descargados directamente a los terrenos adyacentes.

### **2.3.2 COSTOS DE OPERACION**

#### **PERSONAL**

Las tablas 2.7 y 2.8 presentan la plantilla de personal que se necesitara para la operación y mano de obra en mantenimiento de los equipos electromecánicos para la planta de lodos activados, tanto en la modalidad convencional, completamente mezclado o aireación extendida; así como la plantilla de personal para la operación del sistema de digestión anaerobia.

#### **ENERGIA**

En las tablas 2.9, 2.10 y 2.11 se presentan los requerimientos de energía para la planta de lodos activados convencional, aireación extendida y digestión anaerobia respectivamente; tomando todos lo equipos electromecánicos y su horario de operación. Se incluye la demanda de energía por alumbrado. Por facilidad de calculo se considera una potencia nominal en HP que se convierte a kw/hr/día y tomando un costo unitario de 50.31 pesos por kw/hr se obtiene el monto total anual por este concepto. En la tabla 2.12 se presentan en forma resumida los valores comparativos para las tres plantas evaluadas.

#### **REACTIVOS**

Se considera exclusivamente el cloro para desinfección y polímero y sulfato de aluminio para acondicionamiento de los lodos previo a su deshidratación. En la tabla 2.4 se muestran los costos anuales por este concepto, así como los costos de operación.

Para obtener los costos de mantenimiento se considero una erogación anual de 6% del costo de los equipos electromecánicos y del 1% del costo de la obra civil.

OBRA	Lodos Activados		AIREACION EXTENDIDA		DIGESTION ANAEROBIA	
<b>I. COSTO DE INVERSION</b>						
1 COSTOS DE CONSTRUCCION	21,444,000.00		25,506,000.00		17,468,000.00	
2 EQUIPO	15,606,000.00		11,271,000.00		5,202,000.00	
TOTAL INVERSION DE CONSTRUCCION	38,150,000.00		36,777,000.00		22,670,000.00	
3 COSTO CAPITAL ANUAL		7,096,329.00		6,666,199.02		5,921,764.20
<b>II. COSTO OPERACION</b>						
1 PERSONAL	659,592.48		659,592.48			730,876.80
2 ENERGIA ELECTRICA	655,025.35		598,337.20			195,296.90
3 REACTIVOS	54,076.47		54,076.47			54,076.47
TOTAL C OPERACION	1,368,694.30		1,312,006.15			980,250.17
<b>III. COSTO MANTENIMIENTO</b>						
1 EQUIPO	916,360.00		676,260.00			312,120.00
2 OBRA CIVIL	235,440.00		255,060.00			274,680.00
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	1,171,800.00		931,320.00			586,800.00
<b>IV. DISPOSICION DE Lodos</b>		57,088.80		57,088.80		57,088.80
1 OPERACION		22,573.86		13,544.32		22,573.86
2 MANTENIMIENTO		31,335.41		31,335.41		18,801.24
COSTO TOTAL DE DISPOSICION		110,998.07		101,968.53		98,463.91
TOTAL ANUAL		9,747,821.37		9,001,493.70		7,587,278.28
TOTAL MENSUAL		812,318.45		750,957.81		632,273.19
CSM		6.27		5.79		4.88
CSM DE OPERACION Y MANT		1.63		1.44		1.01

COSTOS CON VIGENCIA DE AGOSTO DE 1996

TABLA 2.4 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN SANTA CATARINA, DELEGACION TLAHUAC CON FILTRO DE VACIO

OBRA	LODOS ACTIVADOS	AIREACION EXTENDIDA	DIGESTION ANAEROBIA
<b>I- COSTO DE INVERSION</b>			
1- COSTO DE CONTRACCION	23,544,000.00	25,506,000.00	27,468,000.00
2- EQUIPO	15,259,200.00	10,924,200.00	4,855,200.00
TOTAL INVERSION DE CONSTRUCCION	38,803,200.00	36,430,200.00	32,323,200.00
COSTO CAPITAL ANUAL	7,033,468.03	6,603,338.05	5,858,903.23
<b>II- COSTO OPERACION</b>			
1- PERSONAL	659,592.48	659,592.48	730,876.80
2- ENERGIA ELÉCTRICA	697,569.75	617,826.55	221,434.55
3- REACTIVOS	168,466.77	158,244.86	122,710.61
TOTAL C/ OPERACION	1,525,629.00	1,435,663.89	1,075,021.96
<b>III- COSTO MANTENIMIENTO</b>			
1- EQUIPO	915,552.00	655,452.00	291,312.00
2- OBRA CIVIL	235,440.00	244,060.00	274,680.00
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	1,150,992.00	910,512.00	565,992.00
<b>IV- DISPOSICION DE LODOS</b>			
1- OPERACION	57,088.80	57,088.80	57,088.80
2- MANTENIMIENTO	17,364.51	17,364.51	10,418.71
COSTO TOTAL DE DISPOSICION	98,557.47	98,557.47	81,978.01
TOTAL ANUAL	9,808,646.50	9,068,071.41	7,581,887.20
TOTAL MENSUAL	817,387.21	755,672.62	631,823.93
CM/	6.27	5.83	4.88
CM/ DE OPERACION Y MANT.	1.72	1.52	1.06

COSTOS CON VIGENCIA DE AGOSTO DE 1990

TABLA 2.5 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN SANTA CATARINA, DELEGACION TLAHUAC SIN FILTRO DE VACIO

OBRA	LODOS ACTIVADOS	AIREACION EXTENDIDA	DIGESTION ANAEROBIA
<b>I. COSTO DE INVERSION</b>			
1 COSTO DE CONTRACCION	23,544,000.00	25,506,000.00	27,468,000.00
2 EQUIPO	15,250,200.00	10,924,200.00	4,855,200.00
TOTAL INVERSION DE CONSTRUCCION	38,803,200.00	36,430,200.00	32,323,200.00
COSTO CAPITAL ANUAL	7,033,408.03	6,640,338.05	5,858,903.23
<b>II.- COSTO OPERACION</b>			
1 PERSONAL	659,592.48	659,592.48	730,876.80
2 ENERGIA ELECTRICA	655,025.35	598,337.20	197,333.60
3 REACTIVOS	54,076.47	54,076.47	54,076.47
TOTAL C. OPERACION	1,368,694.30	1,312,006.15	982,286.87
<b>III COSTO MANTENIMIENTO</b>			
1 EQUIPO	915,552.00	655,452.00	291,312.00
2 OBRA CIVIL	235,440.00	255,060.00	274,680.00
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	1,150,992.00	910,512.00	565,992.00
<b>IV.- DISPOSICION DE LODOS</b>			
1 OPERACION			
2 MANTENIMIENTO			
COSTO TOTAL DE DISPOSICION			
TOTAL ANUAL	9,553,154.33	8,825,856.20	7,407,182.10
TOTAL MENSUAL	796,096.19	735,488.02	617,265.18
SMD	6.14	5.68	4.76
SMD DE OPERACION Y MANT	1.62	1.43	1.00

COSTOS CON VIGENCIA DE AGOSTO DE 1996

TABLA 2 6 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN SANTA CATARINA, DELEGACION TLAHUAC SIN TRANSPORTE DE LODOS.

CATEGORIA	SUELDO	PRESTACIONES	SUELDO ANUAL	SUELDO ANUAL
			PERCAPITA	TOTAL
JEFE DE DEPARTAMENTO	5,677.16	7,891.26	94,693.12	94,693.12
LABORATORISTA	1,631.40	2,296.84	17,562.08	27,562.08
AYUDANTE DE LABORATORIO	1,270.23	1,765.61	21,187.32	21,187.32
JEFES DE TURNO	3,301.22	4,591.48	55,097.76	220,391.04
AYUDANTES	2,061.54	2,865.54	34,396.48	275,091.84
MECANICO OFICIAL	825.41	1,147.87	13,774.44	13,774.44
AYUDANTE MECANICO	411.10	574.22	6,890.64	6,890.64
TOTAL			251,593.84	659,592.48

TABLA 2.7 PERSONAL REQUERIDO PARA EL MANEJO DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS Y AIREACION EXTENDIDA

No. CATEGORIA	SUELDO	PRESTACIONES	SUELDO ANUAL	SUELDO ANUAL
			PERCAPITA	TOTAL
JEFE DE DEPARTAMENTO	6,812.69	9,469.51	113,634.12	113,634.12
LABORATORISTA	1,882.86	2,256.32	33,074.64	33,074.64
AYUDANTE DE LABORATORIO	1,370.33	1,755.61	21,187.32	21,187.32
JEFES DE TURNO	3,363.87	5,269.77	66,117.24	264,468.96
AYUDANTES	2,061.54	2,865.54	34,396.48	275,091.84
MECANICO OFICIAL	990.97	1,377.44	16,529.28	16,529.28
AYUDANTE MECANICO	411.10	574.22	6,890.64	6,890.64
TOTAL			291,819.72	730,876.80

TABLA 2.8 PERSONAL REQUERIDO PARA EL MANEJO DE TRATAMIENTO DE DIGESTION ANAEROBIA

ESPECIFICACIONES	REQUERIMIENTOS DE POTENCIA		
	HP	KW-HR-DIA	KW-HR-DIA
<b>CÁRCAMO DE BOMBEO</b> 10.3 m de carga hidráulica 3 equipos de bombeo de 15 HP c/u	45.00	804.00	805.00
<b>SEDIMENTACION PRIMARIA</b> Motor para rastras de 1 HP Motor para purga de lodos primarios de 0.5 HP	2.00 1.00	36.00 18.00	36.00 18.00
<b>AIREACION</b> V = 1260 m <sup>3</sup> 2 Aereadores de 50 HP c/u	200.00	3,570.00	3,570.00
<b>SEDIMENTACION SECUNDARIA</b> Motor para rastras de 0.5 HP Equipo para recirculación de lodos de 3.5 HP	1.00 7.00	18.00 125.00	18.00 125.00
<b>CLORACION</b> Bomba de ayuda de 0.25 HP	0.50	9.00	9.00
<b>DOSIFICACION DE REACTIVOS</b> Bomba de ayuda de 0.125 HP	0.13	2.00	2.00
<b>DIGESTOR DE LODOS</b> V = 1058 M <sup>3</sup> 1 Aereador de 65 HP	65.00	1,163.00	1,163.00
<b>ESPESADOR</b> Motor para rastras de 0.5 HP Equipo para recirculación de lodos de 0.5 HP	0.50 0.50	9.00 9.00	9.00 9.00
<b>FILTRO DE VACIO</b>	21.00	376.00	
<b>ALUMBRADO</b> Luminaria de 250 W 10 horas	2.00	15.00	15.00
<b>T O T A L</b>	346.00	6,165.00	5,789.00
<b>COSTO ANUAL</b>		697,569.75	654,025.35

TABLA 2 9 REQUERIMIENTOS DE POTENCIA PARA LODOS ACTIVADOS

ESPECIFICACIONES	REQUERIMIENTOS DE POTENCIA			
	HP	KW-HR-DIA	KW-HR-DIA	KW-HR-DIA
<b>CARACAMO DE BOMBEO</b> 10.5 m de carga hidráulica 3 equipos de bombeo de 15 HP c/u	45.00	805.00	805.00	805.00
<b>AIREACION</b> V= 4320 m <sup>3</sup> 2 Aereadores de 60 HP c/u	240.00	4,295.00	4,295.00	4,295.00
<b>SEDIMENTACION SECUNDARIA</b> Motor para rastras de 0.5 HP Equipo para recirculación de lodos de 3.5 HP	1.00 7.00	18.00 125.00	18.00 125.00	18.00 125.00
<b>CLORACION</b> Bomba de ayuda de 0.5 HP	0.50	9.00	9.00	9.00
<b>DOSIFICACION DE REACTIVOS</b> Bomba de ayuda de 0.125 HP	0.125	2.00	2.00	2.00
<b>ESPESADOR</b> Motor para rastras de 0.5 HP Equipo para recirculación de lodos de 0.5 HP	0.50 0.50	9.00 9.00	9.00 9.00	- -
<b>FILTRO DE VACIO</b>	19.50	349.00	-	-
<b>ALUMBRADO</b> Luminaria de 250 W 10 horas	2.00	15.00	15.00	15.00
<b>T O T A L</b>	316.00	5,637.00	5,288.00	5,270.00
<b>COSTO ANUAL</b>		637,826.55	598,337.20	596,306.50

TABLA 2.10 REQUERIMIENTOS DE POTENCIA PARA AIREACION EXTENDIDA

ESPECIFICACIONES	REQUERIMIENTOS DE POTENCIA		
	HP	KW-HR-DIA	KW-HR-DIA
<b>CÁRCAMO DE BOMBEO</b> 10.3 m de carga hidráulica 3 equipos de bombeo de 15 HP c/u	45.00	805.00	805.00
<b>REACTOR ANAEROBIO</b> V= 350 m <sup>3</sup>	50.00	895.00	895.00
<b>CLORACION</b> Bomba de ayuda de 0.5 HP	0.50	9.00	9.00
<b>DOSIFICACION DE REATIVOS</b> Bomba de ayuda de 0.125 HP	0.125	2.00	2.00
<b>FILTRO DE VACIO</b>	12.90	231.00	
<b>ALUMBRADO</b> Luminaria de 250 W. 10 horas	2.00	15.00	15.00
<b>TOTAL</b>	111.00	1,957.00	1,726.00
<b>COSTO ANUAL</b>		221,434.55	195,296.90

TABLA 2.11 REQUERIMIENTOS DE POTENCIA PARA TRATAMIENTO ANAEROBIO

ESPECIFICACIONES	REQUERIMIENTOS DE POTENCIA					
	KW-HR-DIA					
	HP	LODOS ACTIVADOS	HP	AIREACION EXTENDIDA	HP	DIGESTION ANAEROBIA
<b>CÁRCAMO DE BOMBEO</b> 10.3 m de carga hidráulica 3 equipos de bombeo de 1" HP c/u	45.00	805.00	45.00	805.00	45.00	805.00
<b>SEDIMENTACION PRIMARIA</b> Motor para rasas de 1 HP	2.00	36.00	-	-	-	-
Motor para purga de lodos primarios de 05 HP	1.00	18.00	-	-	-	-
<b>AIREACION</b>	200.00	3,579.00	240.00	4,295.00	-	-
<b>REACTOR ANAEROBIO</b>	-	-	-	-	50.00	895.00
<b>SEDIMENTACION SECUNDARIA</b> Motor para rasas de 0.5 HP	1.00	18.00	1.00	18.00	-	-
Equipo para recirculación de lodos de 3.5 HP	7.00	125.00	7.00	125.00	-	-
<b>CLORACION</b> Bomba de ayuda de 0.25 HP	0.50	9.00	0.50	9.00	0.50	9.00
<b>DOSIFICACION DE REATIVOS</b> Bomba de ayuda de 0.125 HP	0.12	2.00	0.12	2.00	0.12	2.00
<b>DIGESTOR DE LODOS</b>	65.00	1,165.00	-	-	-	-
<b>DISPOSICION DE LODOS</b> Bomba de bombeo lodos 1 HP	1.00	18.00	1.00	18.00	1.00	18.00
<b>ALUMBRADO</b> Luminaria de 250 W 10 horas	2.00	15.00	2.00	15.00	2.00	15.00
<b>TOTAL</b>	325.00	5,789.00	267.00	5,288.00	99.00	1,744.00
<b>COSTO ANUAL</b>		655,025.35		598,337.20		197,333.60

TABLA 2.12 REQUERIMIENTOS DE POTENCIA SIN TRANSPORTE DE LODOS

## **DISPOSICION DE LODOS**

Finalmente se considera el costo de disposición de los lodos por su transporte y descarga hasta los lugares de destino final. En este concepto se incluye la operación y mantenimiento de camiones de volteo o carros pipa.

## **2.4 SELECCION DE LA OPCION MAS ADECUADA**

### **LODOS ACTIVADOS**

En el proceso de lodos activados, la bacteria es el microorganismo de mayor importancia ya que ésta es responsable de la descomposición de la materia orgánica en el influente. Además, lo importante dentro del proceso es que las bacterias consuman la materia orgánica tan rápido como sea posible, es así mismo importante que ellas se agrupen en un floculo adecuado que pueda sedimentarse fácilmente, se ha observado que a medida que el tiempo de residencia celular ( $t_s$ ) se incrementa, la carga superficial de los microorganismos se reduce, y estos comienzan a producir la capsula que provoca su agrupamiento incrementando su sedimentabilidad. La presencia de los polímeros que forman la capsula, promueve la formación de los floculos y se ha encontrado que para aguas residuales domésticas, tiempos de residencia celular del orden de 3 ó 4 días son adecuados.

Para generar lodos de desecho prácticamente estabilizados se requiere de mayores tiempos de retención celular que pueden oscilar entre 15 y 20 días, sin embargo, a medida que se incrementa el tiempo de retención celular, se incrementa de igual forma el índice volumétrico de lodos, provocando problemas de sedimentabilidad que se refleja en la recirculación de lodos al tanque de aireación.

### **LODOS ACTIVADOS SISTEMA CONVENCIONAL**

Este proceso está integrado por un reactor biológico de flujo pistón considerado mezcla completa en el sentido transversal al flujo y prácticamente sin mezcla en el sentido longitudinal. Teniendo al metabolismo biológico como una reacción de primer orden se ha podido demostrar matemáticamente que resulta de mayor eficiencia el flujo pistón que un reactor de mezcla completa. Cabe destacar que en esta etapa se recurre en forma común a la aireación por medio de difusores que resultan adecuados para conservar el flujo pistón, sin embargo, el empleo de aireadores mecánicos de superficie disminuye las posibilidades de conservar este comportamiento hidráulico.

Aunque este sistema es muy eficiente, se le identifican dos problemas fundamentalmente el primero relacionado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque donde se observa que las mayores demandas se presentan al inicio del tanque de aireación disminuyendo sensiblemente hacia el final, cuando se alcanza la mínima concentración de comida remanente. Esto coacciona en algunos casos el agotamiento del oxígeno disuelto en parte de los tanques y un desperdicio de energía al final de los mismos. El segundo problema que se identifica en sistemas de tratamiento para el manejo de aguas residuales es en comunidades con influente industrial, ya que concentraciones de elementos tóxicos entran en contacto con un pequeño volumen de licor mezclado resultando en muchas ocasiones niveles suficientemente altos para provocar la muerte de los microorganismos.

Los criterios de diseño para el sistema convencional puede quedar resumido como sigue:

- Sedimentador primario con un tiempo de retención entre 2.5 y 3 horas y cargas hidráulicas altas entre 35 y 40  $m^3/m^2/día$ . En algunos casos con aguas residuales de origen doméstico o aguas industriales con bajo contenido de sólidos es posible eliminar la sedimentación primaria.
- El tanque de aireación de diseño normalmente con tiempo de retención de 3 a 6 horas dependiendo de la concentración inicial de la materia orgánica y de la eficiencia deseada, aunque se pueden tener mayores tiempos de aireación.
- El sistema de aireación es normalmente mediante difusores.
- Las dimensiones del tanque dependen primordialmente de las características del sistema de aireación.
- El tiempo de retención celular se establece entre 3 y 7 días por lo que es necesario una estabilización posterior de los lodos de desecho.
- El sedimentador secundario se diseña con una tasa máxima de 30 a 35  $m^3/m^2/día$ . Las características de los lodos secundarios normalmente no permiten concentraciones en la recirculación superiores a los 125,000 mg/lts, por lo que es muy poco frecuente operar reactores con concentraciones de sólidos suspendidos de licor mezclado superior a los 8,000 y 9,000 mg/lts.

- La eficiencia de la planta normalmente esta asociada a las condiciones de operación, las cuales solo pueden controlarse a nivel recirculación, por lo que es conveniente establecer un sistema que permita la variación del flujo entre 0.5 y 1.5 veces el gasto de entrada.

#### **VENTAJAS**

- 1.- Tiempos de retención cortos en el reactor (6 a 8 hrs).
- 2.- Tiempos cortos de generación y aclimatación de lodos.
- 3.- Recirculación de lodos para aumentar su concentración.
- 4.- El requerimiento de aire dependerá de la cantidad a remover.
- 5.- Acepta cargas orgánicas entre 0.3 y 0.7 d-l.
- 6.- Concentración de sólidos biológicos en el reactor entre 2000 y 4000 mg/lts.

#### **DESVENTAJAS**

- 1.- Requiere de una gran concentración de lodos activados.
- 2.- Existe descontrol del proceso con cargas repentinas.
- 3.- El proceso es generalmente para aguas residuales domésticas.
- 4.- Requieren de una aireación y agitación del licor mezclado.
- 5.- Es necesario un sedimentador secundario con sistema recolector de natas.
- 6.- Rangos de temperatura y PH sin variaciones.
- 7.- Los lodos de desecho son potencialmente activos, haciéndose necesaria su estabilización antes de su disposición final.
- 8.- Es necesario suministrar nutrientes en las cantidades adecuadas.

#### **AIREACION EXTENDIDA**

El proceso de lodos activados en su modalidad de aireación extendida es posiblemente uno de los sistemas más comúnmente empleados y con grandes posibilidades de utilización a futuro, tanto para el tratamiento de aguas residuales municipales como de desechos líquidos provenientes de la industria. La principal característica de este sistema es que opera con tiempos de retención celular prolongados, normalmente entre 15 y 20 días, lo que provoca que los lodos generados en la planta de este tipo estén prácticamente estabilizados disminuyendo así, los problemas de disposición final.

Los tiempos de aireación son más prolongados que los empleados en los sistemas convencional y completamente mezclado, variando desde 8 hr hasta 24 hrs ó más, dependiendo de las características de los desechos a tratar. La principal razón para esta condición estriba en que los altos tiempos de retención celular implican que la fracción activa de los lodos biológicos en los sólidos suspendidos del licor mezclado (SSL) sea muy reducida, requiriéndose por lo tanto mayores tiempos de oportunidad de contacto con un sustrato para alcanzar eficiencias de remoción razonables. Cuando los requerimientos de potencia por mezclado determinan el tamaño de los motores para aireación el tener mayores volúmenes por incremento de tiempo de retención hidráulicos, significa mayores demandas de potencia, lo que resulta en incoestabilidad de este proceso para su aplicación a gastos altos. En principio su aplicación se restringió a plantas con un máximo de 150 a 200 lts/s; sin embargo, recientes mejoras en los sistemas de aireación han fomentado su aplicación a gastos mayores. La planta de tratamiento mas grande que se planea construir en nuestro país considera la aplicación de aireación extendida a un caudal de 5 m<sup>3</sup>/s.

Al resolver prácticamente el problema de estabilización de los lodos secundarios se consideró la conveniencia de no generar lodos primarios que obligaran al empleo de digestores para esta corriente de desecho eliminando la sedimentación primaria y alimentando los desechos líquidos crudos al tanque de aireación. Esta condición ha resultado atractiva al reducir los costos de inversión y disminuir la problemática en el manejo de los lodos de desecho, sin embargo, en general y con procesos de aireación tradicionales se ha identificado un mayor costo de operación para la operación de los sistemas de transferencia de oxígeno

## VENTAJAS

- 1.- No presenta problemas de olores.
- 2.- La producción de lodos es mínima.
- 3.- Constructivamente son económicos.
- 4.- No se presenta el problema para eliminar lodos, ya que éstos se encuentran prácticamente estabilizados y pueden ser depositados en terrenos de cultivo en forma directa.
- 5.- No se requiere la construcción del sedimentador primario.
- 6.- Existe una mayor reutilización de micronutrientes, por lo que deficiencias de estos afectan menos que el proceso de lodos activados convencional o completamente mezclados.
- 7.- Para cargas orgánicas superiores a los 400 mg/lts; los costos de operación y mantenimiento son normalmente mas bajos que los requeridos para lodos activados convencional o completamente mezclados.

## DESVENTAJAS

- 1.- Tiempos largos de retención en el reactor.
- 2.- Cargas orgánicas entre 0.10 y 0.25 d-1.
- 3.- Mayor consumo de oxígeno (el doble comparado con lodos activados convencional), aunque equiparables si se considera el oxígeno requerido en la digestión de lodos.
- 4.- Mayores demandas de energía al mantenerse a los microorganismos en suspensión en volúmenes mayores.
- 5.- Concentración de sólidos biológicos en el reactor entre 3500 y 5000 mg/lts.
- 6.- Requerimiento de grandes áreas de construcción.
- 7.- Aplicable a pequeñas comunidades

## TRATAMIENTO ANAEROBIO

El proceso de la degradación anaerobia metanogénica es una alternativa interesante desde el punto de vista del tratamiento de desecho ya que se da naturalmente, en condiciones de anaerobiosis y en ausencia de luz y compuestos oxidantes como los nitratos y sulfatos. Produce escaso aumento de la biomasa degradadora, porque la mayor parte de la energía de los sustratos se conserva en el producto. No requiere de aireación, produce un metabolismo útil desde el punto de vista energético y, a través del consumo de la materia orgánica presente en el efluente, reduce sensiblemente las demandas químicas y bioquímicas de oxígeno del mismo.

Los reactores anaerobios representan un ecosistema muy particular, donde diversos grupos de bacterias catalizan la conversión de compuestos orgánicos complejos a metano y anhídrido carbónico de forma sumamente controlada y coordinada.

Las ventajas más atractivas de los reactores anaerobios que justifican su adopción en el país son:

- 1.- Sistemas constructivos simples con requerimientos de equipo limitados
- 2.- Ahorro de costos en consumo energético (bajo consumo energético y producción de  $CH_4$ ).
- 3.- La limitada producción de lodos de desecho que ya están aceptablemente estabilizados.
- 4.- Menor requisito de nutrientes.

- 5.- Cargas superiores a las empleadas en lodos activados.
- 6.- Producción de metano (combustible)
- 7.- Resistencia a periodos sin alimentación.

Y dentro de las desventajas se tienen:

- 1.- Mayor tiempo de retención.
- 2.- Mayor costo en la construcción del reactor.
- 3.- Emisión de olores.
- 4.- Mayor temperatura (precalentamiento a 35°C).
- 5.- Necesidad de postratamiento (dependiendo del reuso).
- 6.- La operación de las unidades es más complicada por ser sensibles a la carga.
- 7.- Problemas en la fase inicial del desarrollo del proceso (falta de inóculo adecuado).
- 8.- Aceptación limitada a nivel general

#### REQUERIMIENTOS BASICOS.

De acuerdo con las dimensiones de las unidades y con base en las características básicas de los equipos, los requerimientos básicos de las opciones evaluadas se resumen en la tabla 2.13

CONCEPTO	LODOS ACTIVADOS	AIREACION EXTENDIDA	DIGESTION ANAEROBIA
AREA (m <sup>2</sup> )	8,200.00	10,000.00	5,000.00
CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO	ALTA	ALTA	ALTA
ENERGIA ELÉCTRICA (Kw)	260.00	237.00	83.00
TOPOGRAFIA MAS CONVENIENTE	PLANA CON PENDIENTE DE 1 AL 2%	PLANA CON PENDIENTE DE 1 AL 2%	PLANA

TABLA 2.13 REQUERIMIENTOS BASICOS

## **CAPITULO 3**

# **DISEÑO DIMENSIONAL E HIDRAULICO DE LA OPCION RECOMENDADA**

### 3. DISEÑO DIMENSIONAL E HIDRAULICO DE LA OPCION RECOMENDADA

Una vez seleccionado el proceso de aireación a contracorriente, se procede a diseñar cada uno de los elementos que lo conforman.

#### 3.1 REJILLAS Y CANAL DE ENTRADA

La primer etapa de tratamiento consiste en la remoción de sólidos gruesos para lo cual se recomienda usar rejillas, las cuales son de muy fácil limpieza manual.

Debido al metodo de limpieza se tiene

La velocidad de aproximación en el canal debe ser mínima de 0.3 m/s y máxima de 0.9 m/s, por lo que se recomienda tomar su promedio, 0.6 m/s. También se recomienda tomar 0.75 m/s para la velocidad máxima entre rejas.

Si se considera que el diámetro de la tubería de llegada es de 0.6 m tenemos:

$$V_p = 0.65 \text{ m/s}$$

$$A = 0.283 \text{ m}^2$$

$$Q = V_p A = 183 \text{ lts/s}$$

Y además:

La separación entre barras = 0.02 m

ancho de barras = 0.025 m

espesor de barras = 0.006 m

tenemos,  $N^\circ$  de barras =  $0.58 \text{ m} / 0.026 \text{ m} = 22$  barras

y por tanto 23 espacios ; De aqui que:

El claro libre = 0.46 m

El espacio ocupado por rejillas = 13.2 m

El ancho neto = 0.60 m

Por tanto; si  $Q_{\max} = 0.183 \text{ m}^3/\text{s}$  de la fórmula de Manning:

$A_h = Q/V = 0.305 \text{ m}^2$ , que es el área hidráulica, y

$Y = A_h/V = 0.508 \text{ m}$ , que es el tirante del canal.

Entonces el área de criba efectiva es:

(Nº de espacios \* separación entre barras \* tirante hidráulico)

$A_e = 0.23 \text{ m}^2$  y por tanto

$Vel_{\max} = Q_{\max} / A_e = 0.783 \text{ m/s}$

Se considera que las pérdidas son despreciables, conservándose las características arriba mencionadas, (vease figura 3.1).

Para efectos de mantenimiento o reparación se recomiendan 2 canales de entrada, siendo estos rectangulares.

De la fórmula de Manning; la velocidad en el canal:

$V = R^{2/3} * S^{1/2} / n$  donde  $R = b*y / (b+2y)$

$n = 0.013$  rugosidad del cemento.

Para el diseño del canal de entrada, si tenemos que;

$b = 0.60 \text{ m}$

$y = 0.508 \text{ m}$

$R = 0.188 \text{ m}$ ; entonces:

$S = (V(n))^2 / R^{2/3} = 0.0006$

Dimensiones con las cuales finaliza el diseño de los canales.

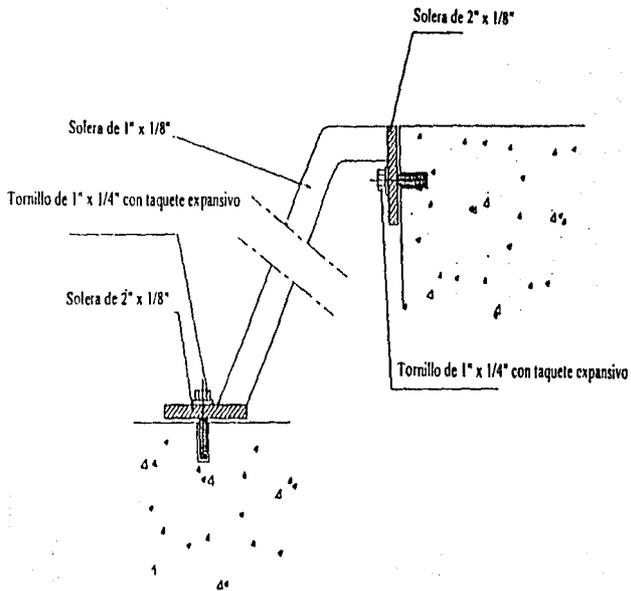


FIGURA 3.1 DETALLE DE REJILLAS

### 3.2 DESARENADOR

Debido a que las condiciones del suelo en esta zona son precarias, se recomienda construir una estructura cilíndrica, de la menor dimensión posible.

El desarenador recomendado debe consistir en una serie de cilindros concéntricos. La condicionante de diseño, es la velocidad de ascenso del agua que se establece de 0.15 m/s para los gastos medio y máximo y 0.11 m/s para el mínimo.

Se recomienda que la profundidad del desarenador tenga como mínimo 1.50 m dadas las condiciones de nivel freático (vease figura 3.2).

En la figura 3.2 se establece que la altura de mamparas será:

$$\text{Si } Q_{\min} = 0.025 \text{ m}^3/\text{s} \text{ y } V = 0.11 \text{ m/s}$$

$$A = Q/V = 0.227 \text{ m}^2$$

$$D = (4 * A / 3.14)^{1/2} = 0.227 \text{ m}^2$$

$$P = 3.14 * D = 1.696 \text{ m}$$

$$h = A/P = 0.134 \text{ m}, \text{ que es la altura de mampara para } Q_{\min}$$

Procediendo del mismo modo para  $Q_{\text{med}} = 0.075 \text{ m}^3/\text{s}$

$$h = 0.2 \text{ m}, \text{ que es la altura de la mampara para } Q_{\text{med}}$$

De igual manera para  $Q_{\text{max}} = 0.183 \text{ m}^3/\text{s}$

$$h = 0.31 \text{ m} \text{ que es la altura de mampara para } Q_{\text{max}}$$

Ahora bien, tomando el valor de  $2.5 \text{ m}^3$  de arena /  $1 \times 10^6 \text{ m}^3$  agua residual. Obtenemos la cantidad de arena sedimentada por día, tomando:

$$t = \frac{1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ arena}}{0.183 \text{ m}^3/\text{s}} = 5464480 \text{ s} = 1517 \text{ hr}$$

y por tanto, la cantidad de arena sedimentada por día será:

$$Q_A = 2500 \text{ lts de arena} / 5464480 \text{ s} = 0.0004 \text{ lts/s} = 0.04 \text{ m}^3 / \text{día}$$

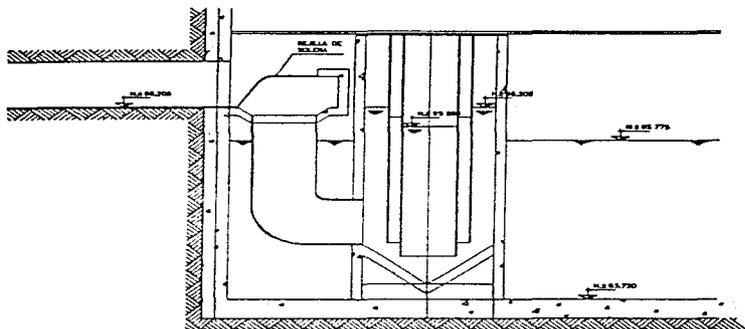


FIGURA 3.2 CARACTERISTICAS DEL DESARENADOR

### 3.3 CARCAMO DE BOMBEO

Para garantizar la vida útil de los motores se recomienda establecer un ciclo de operación de arranque - paro - arranque según información recomendada por el fabricante, que para este caso es de un ciclo por hora, dividiendo el tiempo entre 3.

$$\text{Tiempo del ciclo} = T = 60 \text{ min} / 3 = 20 \text{ min}$$

Si el volumen requerido para los equipos se obtiene como:

$$\text{Vol} = Q * T / 4, \text{ para } Q_{\text{min}} = 0.025 \text{ m}^3 \text{ tendremos,}$$

$\text{Vol} = 7.5 \text{ m}^3$  que es el volumen mínimo requerido para satisfacer el equipo y el ciclo operativo.

Tomando en cuenta que por normas el tiempo para retención de aguas negras dentro del cárcamo no debe ser mayor de 30 min para evitar la septicidad, tendremos por el mismo proceso, operando 2 modulos en la primera etapa de operación.

Si  $Q = 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$  entonces  $\text{Vol} = 90 \text{ m}^3$  que es el volumen útil máximo requerido de operación, por supuesto si es menor este volumen útil, será mejor para evitar la septicidad en el cárcamo

De lo anterior concluimos que el cárcamo recomendado deberá tener un volumen útil de bombeo

Fijando un diámetro de 5 m y una altura de 1.80 m tendremos,

$$A_u = 19.63 \text{ m}^2 \text{ y por tanto un } V_{\text{util}} = 35.34 \text{ m}^3$$

el cual comparándolo con los volúmenes anteriores queda dentro del rango adecuado pues se cumple con los niveles de septicidad y los requerimientos de volumen de los equipos, (vease figura 2.3).

Ahora se calculará la velocidad de descarga y conducción del equipo de bombeo del cárcamo y las pérdidas correspondientes:

Considerando en la descarga una tubería de 0.152 m de diámetro;

$$V_d = Q/A = 1.37 \text{ m/s} ;$$

Las pérdidas en la tubería , para tener el diámetro más económico serán :

$$\text{Si } h_{f1} = fLQ^2 / D^5 \cdot 33 \quad ; \quad h_{f1} = 0.29 \text{ mca}$$

De aquí que las pérdidas por piezas especiales se calcule con:

$$h_{fd} = kv_d / 2g \quad , \text{ para la descarga; si:}$$

$$k=0.29 \text{ para tres codos de } 90^\circ \text{ entonces } h_{fd} = 0.09 \text{ mca}$$

Por los mismos procesos en la conducción con una tubería de 0.203 m de diámetro;

$$V_c = 1.54 \text{ m/s} \quad ,$$

$$\text{Las pérdidas en la tubería serán ; } h_{f2} = 0.37 \text{ mca;}$$

Y las pérdidas por piezas especiales serán; tomando los siguientes coeficientes :

$k=0.50$  para una succión

$k=2.0$  para una válvula check

$k=0.05$  para una válvula de compuerta

$k=0.28$  para un codo de  $90^\circ$

$k=0.17$  para un codo de  $45^\circ$

$$h_{fc} = 0.29 \text{ mca}$$

Por tanto las pérdidas totales serán ,  $h_{ft} = 1.04 \text{ mca}$

De aquí que, si el desnivel estático se calcula;  $H_e = H_2 - H_1$ ;

$$H_{e_{\max}} = 9.96 \text{ m}$$

$$H_{e_{\text{nor}}} = 9.96 \text{ m}$$

$$H_{e_{\min}} = 9.96 \text{ m}$$

Si la carga dinámica total se calcula;  $H_B = H_e + h_B$ ;

$$H_{B_{\max}} = 11.00 \text{ mca}$$

$$H_{B_{\text{nor}}} = 10.39 \text{ mca}$$

$$H_{B_{\min}} = 9.77 \text{ mca}$$

Y si la curva del sistema se define como:

$h = h_R (Q_2 / Q_1)^2$  : siendo  $Q_1$  el gasto de diseño de la primera etapa, entonces tabulando tenemos:

$Q_2$ (lts/s)	H (m)
0	9.35
10	9.39
20	9.51
30	9.72
40	10.01
50	10.39
60	10.84
70	11.39
80	12.01
90	12.72

Por lo que se recomienda usar una bomba:

Marca	Fairbanks
Catálogo	4"54121L
Columna	4"
RPM	1750

N° de alabes	1
Paso de esfera	3"
Campana	229 mm
NPSHR	13"

Donde revisando el nivel de agua con respecto al NPSHR para la bomba, con el método de Fairbanks Morse:

Si  $NPSHD = P_b + S - P_v - h_f$  siendo S la sumergencia del ojo del impulsor y además:

$$P_b = 25.41 \text{ pies}$$

$$P_v = 0.59 \text{ pies de agua a } 15^\circ\text{C}$$

$$h_f = 0.16 \text{ pies}$$

Despejando la sumergencia y teniendo que  $NPSHR = NPSHD$  tenemos que:

$$S = -11.06 \text{ pies} = -3.56 \text{ m}$$

Por tanto el ojo del impulsor queda a 3.56 m arriba del nivel del agua sin presentar cavitación. De la misma manera, para la segunda etapa, con un volumen mínimo requerido de  $5.63 \text{ m}^3$  y un volumen útil máximo de  $0.075 \text{ m}^3$ , obtenemos que el careamo es adecuado para el mismo nivel del ojo del impulsor.

### 3.4 CAJAS RECEPTORA Y DERIVADORA

Una vez tratada preliminarmente el agua residual mediante las rejillas y el desarenador, el agua se bombea hacia la caja de distribución donde se recibe y se reparte el gasto total. La caja del influente y la caja derivadora integran un volumen común. No existen especificaciones para diseñar estas unidades, sin embargo se consideran uno o dos minutos de tiempo de retención, de aquí que si

$$Q_{\max} = 183 \text{ lts/s}$$

$$T_r = 1 \text{ min}$$

El Vol caja =  $10.98 \text{ m}^3$  ; considerando 1 m de profundidad y un ancho efectivo de 2.5 m entonces tendremos:

Area =  $10.98 \text{ m}^2$  y su longitud por tanto será de 4.39 m.

Dado que el diámetro de la tubería de llegada es de 0.30 m se considerarán las siguientes medidas interiores:

Ancho = 2.5 m

Largo = 0.80 m

Profundidad efectiva = 1.0 m

Bordo libre = 0.40 m

Para estabilizar el influente se considerará un muro en "3 bolillo" de 0.15 m de ancho y 1 m de alto, teniendo un área de  $0.70 \text{ m}^2$  y una velocidad de  $0.26 \text{ m/s}$  como lo muestra la figura 3.3. Después, para conducir el influente hacia los canales el flujo será controlado mediante 3 compuertas deslizantes metálicas de 0.76 m de ancho y 1 m de alto al igual al de los canales de alimentación.

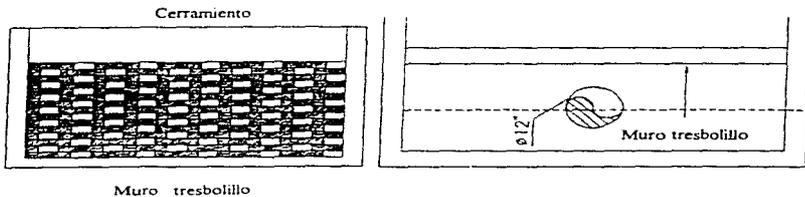


FIGURA 3.3 CAJA RECEPTORA

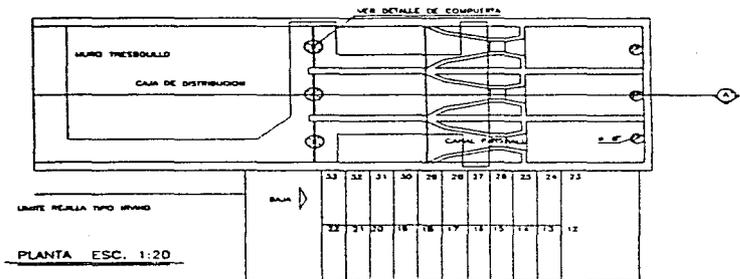


FIGURA 3.4 CAJA DERIVADORA Y ENTRADA A CANALES DE ALIMENTACION

### 3.5 CANALES DE ALIMENTACION

En la figura 3.4 podemos observar un canal por cada compuerta deslizante con una pendiente de 1 milésimo y acabado de cemento pulido, donde se establece la constante de Manning  $n = 0.013$ , de aquí que las condiciones de operación para los canales de acuerdo con los gastos que se manejarán y utilizando las dimensiones de los canales Parshall de 0.076 m de ancho de garganta se tendrá una descarga similar a la de la caja derivadora de las siguientes dimensiones:

Ancho de canal = 0.77 m  
 Largo = 1.50 m  
 Profundidad = 0.50 m  
 Pendiente = 0.001

Siendo esta descarga a través de una tubería de 0.20 m de diámetro.

Todas estas características se destacan dentro de las condiciones de operación de los canales (vease tabla 3.1).

Sección	b	y	Area	Perimetro mojado	Radio hidráulico	Ancho superficial
	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)
Rectangular	0.77	0.0304	0.023	0.831	0.028	0.770

Prof. hid.	Factor	S	n	Vcl.	Q
(m)		(miles)		(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
0.0304	0.134	0.025	0.013	1.126	0.026

TABLA 3.1 CONDICIONES DE OPERACION DE LOS CANALES DE ALIMENTACION

### 3.6 SISTEMA DE AIREACION

El sistema elegido para Santa Catarina es el denominado "GR" que consta de 2 tanques concéntricos, requiriéndose 2 trenes integrados por dos unidades "GR" para la primera etapa planeándose un tercero para un futuro inmediato.

#### BASES DE DISEÑO:

Carga  $DBO_5 = 2009 \text{ kg/día}$

Carga de sólidos suspendidos totales =  $1.028 \text{ kg/día}$

Carga de nitrógeno amoniacal =  $181.4 \text{ kg/día}$

Carga de fósforo =  $51.8 \text{ kg/día}$

Gasto de primera etapa =  $50 \text{ lts/s}$

#### CONDICIONES DEL EFLUENTE:

$DBO_5 = 129.6 \text{ kg/día}$

Sólidos suspendidos totales =  $129.6 \text{ kg/día}$

No existe nitrógeno límite y en el efluente es adecuado al igual que el fósforo.

#### TREN DE TRATAMIENTO

##### I. SEDIMENTADOR SECUNDARIO

El diseño de éste se basa en el parámetro denominado volumen de referencia de lodos ( $V_s$ ). Se dimensiona el tanque clarificador destacando la zonas que forman la pared húmeda, como son: la zona de espesamiento, la zona de separación, la zona clarificada y la de almacenamiento

La concentración promedio de SSM (sólidos suspendidos del licor mezclado) de operación será de  $4000 \text{ mg/lts}$  ( $4 \text{ g/lts}$ ) y máxima de  $5000 \text{ mg/lts}$  ( $5 \text{ g/lts}$ )

El índice volumétrico de lodos máximo " $IVL_{max}$ " se determina utilizando la figura 3.5 y por tanto la tasa máxima permisible superficial es

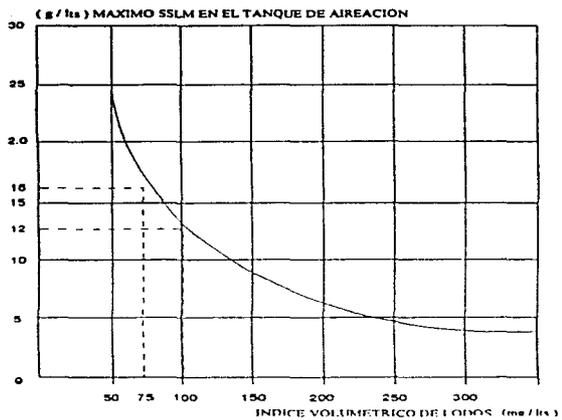


FIGURA 3.5 INDICE VOLUMETRICO DE LODOS MAXIMO

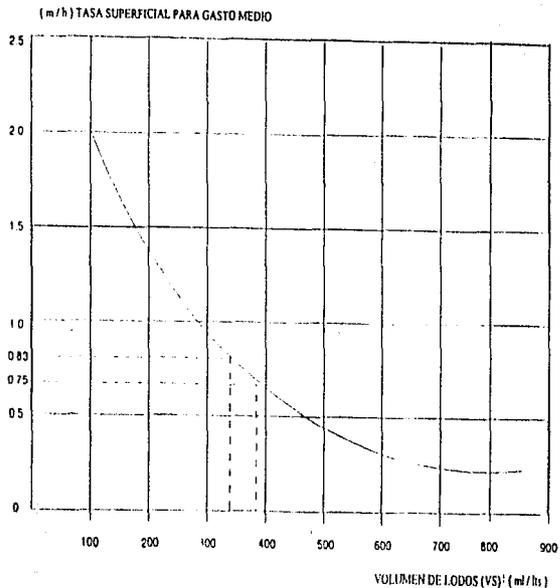


FIGURA 3.6 TASA SUPERFICIAL PARA GASTO MEDIO

Si  $V_s = 4$  g/lts de SSLM é  $IVL = 100$  entonces,

$$V_s = \text{SSLM} \times \text{IVL} = 400 \text{ ml/lts}$$

Si  $V_s = 5$  g/lts de SSLM é  $IVL = 75$  entonces,

$$V_s = 375 \text{ ml/lts}$$

De aquí que si  $V_s = 400$  mg/lts ; entrando a figura 3.6 obtenemos:

$$\text{Carga superficial } q_s = 0.75 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$$

En tanto que, la carga superficial requerida será igual a:

$$Q1^{\text{ra}} \text{ etapa} / q_s = 240 \text{ m}^2 \quad (50 \text{ lts/s})$$

Lo que significa 120 m<sup>2</sup> para cada sedimentador secundario.

Para el gasto máximo, de la misma manera y considerando que  $q_s$  es de 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr entonces,

$$Q2^{\text{na}} \text{ etapa} / 1 = 270 \text{ m}^2 \quad (75 \text{ lts/s})$$

lo que significa 135 m<sup>2</sup> para cada sedimentador.

Por lo tanto, el área requerida para cada sedimentador secundario será de 135 m<sup>2</sup> respetando las condiciones de segunda etapa, para un diámetro recomendado de 14 m.

Es de importancia mencionar los requerimientos mínimos de pared húmeda donde involucramos 4 espesores ó zonas de determinación.

H1 ó Zona de espesamiento. Está en función de la concentración SSLM en el tanque de aireación y el IVL promedio de operación

$$\text{Si } \text{SSLM} = 4 \text{ g/lts y } \text{IVL} = 75 \text{ ml/g}$$

$$H1 = \text{SSLM} \cdot \text{SVI} / 1000 = 0.30 \text{ m}$$

H2 ó zona de separación establecida de 0.5 m

H3 ó zona de agua clarificada debe ser igual o mayor a 0.5 m

H4 ó zona de almacenamiento, se determina por:

$$H4 = \frac{\text{TS} \cdot \text{Volumen del tanque aireador} \cdot \text{SV}}{500 \cdot \text{area superficial del clarificador}}$$

Donde TS es el incremento de las concentraciones máximas de sólidos suspendidos en el licor mezclado, donde para un IVL de operación de 75 ml/g es de 4.8 g/lts a 5 g/lts o sea:  $5 - 4.8 = 0.2$  g/lts

Si el volumen maximo para el aireador es de 14408 m<sup>3</sup> (determinado en el siguiente Capitulo) entonces:

$$H4 = 2.81 \text{ m}$$

Por lo tanto, para la planta cada sedimentador secundario tendra una pared minima de:

$$H1 + H2 + H3 + H4 = 4.11 \text{ m} \text{ recomendándose que la misma sea de } 4.25 \text{ m}$$

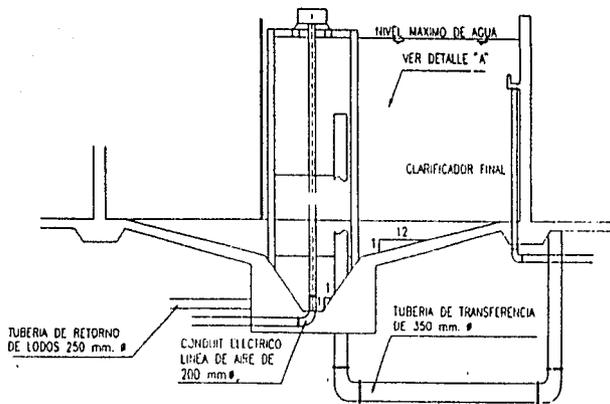
De aqui que se consideren 2 unidades de 14 m de diametro por 4.25 m de pared húmeda.

Asi, el área superficial del clarificador sera de 154 m<sup>2</sup> y el volumen de 654 m<sup>3</sup> como se ve en la figura 3.7, además la carga superficial para Q<sub>min</sub> sera:

$$Q_{\text{min}} / 2 \cdot A_{\text{clarif}} = 0.29 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hr}$$

Por el mismo proceso para Q<sub>med</sub> y Q<sub>max</sub> correspondientemente,

FIGURA 3.7 SEDIMENTADOR SECUNDARIO



$$Q_{\text{med}} = 0.584 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hr} ; Q_{\text{max}} = 0.877 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hr} ;$$

y los tiempos de retención hidráulicos para las diferentes aportaciones serán:

$$\text{Para } Q_{\text{min}} ; 2 * \text{Vol}_{\text{clar}} / Q_{\text{min}} = 14.54 \text{ hr}$$

Por el mismo proceso para  $Q_{\text{med}}$  y  $Q_{\text{max}}$  correspondiente será:

$$\text{Para } Q_{\text{med}} = 7.27 \text{ hr} ; Q_{\text{max}} = 4.85 \text{ hr}$$

## II. TANQUE DE AIREACION

Para el tanque de aireación tenemos una relación comida-microorganismos = 0.07 kg/DBO<sub>5</sub> /kg SSLM. Por tanto la mínima masa de organismos requerida es:

$$\frac{2017 \text{ kg DBO}_5 / \text{dia}}{0.07 \text{ kg DBO}_5 / \text{kg SSLM}} = 28814 \text{ kg SSLM} , \text{ y el volumen requerido será:}$$

$$\frac{28814 \text{ kg SSLM}}{4.0 \text{ kg/m}^3} = 7204 \text{ m}^3, \text{ lo que significa } 3602 \text{ m}^3 \text{ para cada reactor}$$

Para la profundidad del reactor se recomienda usar la altura de 4.25 utilizada para el sedimentador secundario. De aquí entonces, que el área superficial requerida por el mismo es:

$$\text{Vol}_{\text{reac}} / h_{\text{reac}} = 1695 \text{ m}^2 \text{ donde para cada reactor tenemos } 847.5 \text{ m}^2.$$

Por tanto el área total de la unidad de tratamiento es de 1001.4 m<sup>2</sup>, el área superficial de cada reactor será de 863.5 m<sup>2</sup> y el volumen de cada reactor deberá ser de 3670 m<sup>3</sup>.

Ahora bien, calculando las cargas de diseño tenemos :

a) Masa biológica para 4 kg/m<sup>3</sup> SSLM

$Vol_{react} * 4 = 14680 \text{ kg}$  , para cada reactor con 25 lts/s , siendo;

29360 kg ; para cada reactor con 50 lts/s y ,

$$\frac{2017 \text{ kg / DBO}_5}{29360 \text{ kg SSLM}} = 0.068 \text{ kg DBO}_5 / \text{kg SSLM}$$

b) De la misma manera, para 4.5 kg/m<sup>3</sup> SSLM:

16515 kg para cada reactor de 25 lts/s y para 50 lts/s serán 33030 kg , teniendo 0.0611 kg DBO<sub>5</sub> / kg SSLM;

con una eficiencia para el DBO<sub>5</sub> de 0.96 .

Por último, se tiene el tiempo de retención celular:

Para 4 kg/ m<sup>3</sup> SSLM = 15 días

Para 4.5 kg/ m<sup>3</sup> SSLM = 16.92 días , y

Para 5.0 kg/ m<sup>3</sup> SSLM = 18.80 días .

### III. SISTEMA DE RECIRCULACION DE LODOS

La capacidad requerida de bombeo para la recirculación de lodos implica la relación:

$R_v = \text{SSLM} / (\text{SSR} - \text{SSLM})$  Donde SSR son los sólidos suspendidos de recirculacion.

De aquí que  $R_v$  para 4000 mg/lts SSLM e IVL de 100 es igual a 0.50 y para 5000 mg/lts SSLM e IVL de 100 será de 0.714 . Con lo cual obtenemos la capacidad requerida para el bombeo de recirculación de lodos.

Utilizando el gasto medio, para un tiempo de 24 hr tenemos  $90 \text{ m}^3 \text{ hr}$ , siendo  $R_v$  para el gasto máximo igual a  $192.8 \text{ m}^3/\text{hr}$  . Todo esto nos lleva a seleccionar y a sugerir el equipo de bombeo como sigue:

No. de bombas	2 pzas.
Tipo de bombas	Tornillo de inclinación ajustable
Características	500 mm de diámetro. 80 rpm y 0.75 kw cada una.
Capacidad	De 23 a 47 lts/s dependiendo de la inclinación.

(vease figura 3.8)

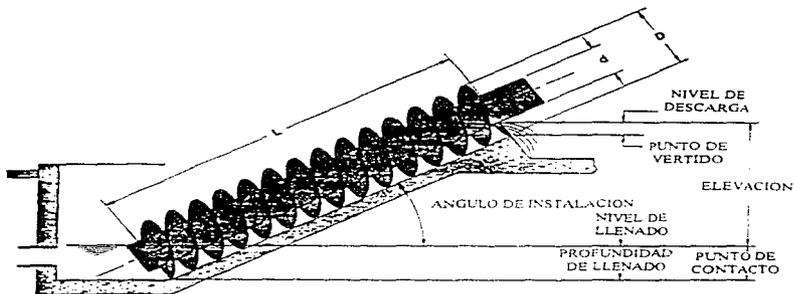


FIGURA 3.8 BOMBA TIPO TORNILLO DE INCLINACION AJUSTABLE

#### IV. SISTEMA DE AIREACION

El rango de oxidación requerida para oxidar la  $DBO_5$  y estabilizar los lodos se considera entre 1.4 y 1.8  $kg O_2 / kg DBO_5$ .

Para Santa Catarina se supondrá de 1.4  $kg O_2 / kg DBO_5$  entonces,  $(2.017 kg DBO_5 * 1.4 O_2) / kg DBO_5 = 2824 kg O_2 / día = 117.7 kg O_2 / hr$ .

Para el suministro de oxígeno se requiere del aire transmitido en base a difusores dentro del tanque. Para una profundidad de 4.15 m del tanque, la tasa de transferencia de oxígeno en agua limpia es de 6.34 por metro de profundidad de los difusores.

Si la profundidad de los difusores es de 4.05 entonces

$$Q_{\text{aire}} = \frac{kg O_2 / hr}{0.28 kg O_2 / m^3 \text{ aire} * 0.0634 / m * 4.05} = 2.339 m^3 \text{ aire} / hr$$

Osea,  $Q_{\text{aire}} = 38.98 m^3/min$  donde; para cada reactor se tendrán  $19.49 m^3/min$ .

La presión de los difusores se calcula a 120 bar por cada metro de agua sobre el difusor por tanto la presión será de 500 bar. Se recomienda que se utilicen sopladores de pistón rotatorio Aersen o similar para los requerimientos mencionados

#### V. FOSA DE ESPESAMIENTO DE LODOS DE DESECHO

Se recomienda para la Planta de Santa Catarina la obtención de la máxima concentración de lodos de desecho del proceso de aireación a contracorriente.

Las condiciones de diseño indican una generación de 0.3 kg de lodo / kg DBO<sub>5</sub> del influente a una relación de 0.05 kg DBO<sub>5</sub> / kg SSLM y de 0.7 kg de lodo / kg DBO<sub>5</sub> en el influente a una relación de 0.10 kg DBO<sub>5</sub> / kg SSLM.

La relación comida - microorganismos (F/M), de diseño para 4000 mg / lts SSLM y gasto promedio es igual a 0.0687 kg DBO<sub>5</sub> kg SSLM

de aquí que la cantidad de lodos de desecho estabilizados (LDE) se calcula:

$$0.46 \text{ kg LDE / kg DBO}_5 * 2017 \text{ kg DBO}_5 = 928 \text{ kg LDE / día.}$$

El volumen de alimentación a la fosa de espesamiento para un IVL de 75 y considerando la relación aireación / decantación será:

$$\frac{928 \text{ kg LDE / día}}{1000 \text{ kg LDE / m}^3 * 0.016} = 61.4 \text{ m}^3/\text{día} \text{ , de aquí que:}$$

El volumen de lodo espesado después de un día es igual a 30.7 m<sup>3</sup>/día y el volumen de lodo para 7 días será de 21.8 m<sup>3</sup>/día lo que nos conduce a un volumen requerido de la fosa total = 203.6 m<sup>3</sup>.

Es recomendable que la fosa se construya como un arco externo al diámetro del tanque con un ancho de 3 m, y la misma profundidad de 4.25 m del clarificador y tanque de aireación. La longitud del arco será de :

$$\frac{203.6 \text{ m}^3}{3 \text{ m} * 4.25 \text{ m}} = 15.97 \text{ m} \quad (\text{vease figura 3.9})$$

Los requerimientos de aire deberán ser sólo lo suficiente para mezclar los lodos en suspensión. Para su diseño se considera un tiempo de retención celular de 15.1 días. El volumen requerido se considera  $1.8 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^3$  de volumen, por tanto se calcula:

$$(15.197 \text{ m} * 3 \text{ m} * 4.30) 1.8 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^3 = 366.5 \text{ m}^3/\text{hr} = 6.1 \text{ m}^3/\text{min}$$

De aquí que se pueden utilizar sopladores de pistón rotatorio a una presión de 500 bar m (7.25 Psi), pudiéndose considerar el soplador Aerzen GMA 11.2 de  $627 \text{ m}^3/\text{min}$ ; 7.2 kw (9.66 hp); 3000 rpm.

Se considera que un solo soplador para cada reactor es suficiente.

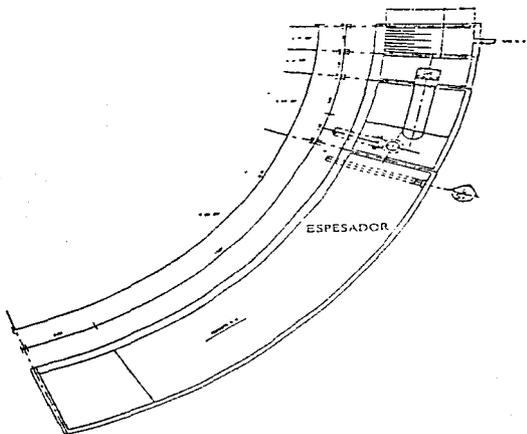


FIGURA 3.9 DETALLE DE ESPESADOR

### 3.7 TANQUES DE CLORADO Y ALMACENAMIENTO

En la desinfección se considera una cámara de contacto continuo donde se colocan mamparas para la intercepción del flujo.

Para el tanque de cloración se tiene:

$$Q = 75 \text{ lts/s} = 6480 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$T_{c1} = 20 \text{ min. , si } Q = 50 \text{ lts/s} \quad ; \quad T_c = \text{ tiempo de contacto}$$

$$T_{c2} = 13.3 \text{ min. , si } Q = 75 \text{ lts/s}$$

$$V = 75 \text{ lts/s} * 798 \text{ s} = 59850 \text{ lts} = 59.9 \text{ m}^3 ; \text{ fijando la altura en 2 m}$$

$A = \text{Vol.} / \text{Altura} = 29.93 \text{ m}^2$  , y si el ancho del canal es igual a 1.0 m , la longitud de este será igual a 29.23 m , como puede verse en la figura 3.10 .

Para sugerir las dosificaciones de cloro , nos basaremos en las condiciones del efluente según indica la tabla 3.2 .

EFLUENTE	DOSIFICACION	(mg / lts)
Aguas Residuales Sin Tratar ( Precloración )	6 - 25	
Sedimentación Primaria	5 - 20	
Precipitación Química	2 - 6	
Filtro Percolador	3 - 15	
Lodos Activados	2 - 8	
Filtro Multiple seguido de Planta De Lodos Activados	1 - 5	

TABLA 3.2 DOSIS TÍPICAS DE CLORO EN DESINFECCION

Si  $Q = 50 \text{ lts/s}$  y  $6 \text{ mg/lts}$  de cloro la dosis será de  $26.35 \text{ kg/día}$  ; siendo para  $Q = 75 \text{ lts/s}$  igual a  $38.88 \text{ kg/día}$ . De la misma manera para el tanque de almacenamiento y para el Q2ª etapa, si el tiempo de almacenaje es de 4.5 hr, la dosis sera

Si el volumen =  $1215 \text{ m}^3$  y se fija una altura de 4.0 m , entonces el área sera igual a  $303.7 \text{ m}^2$  ; si ademas el área =  $2W * W$  , siendo W el ancho del tanque ; despejando :

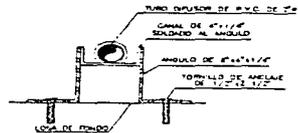
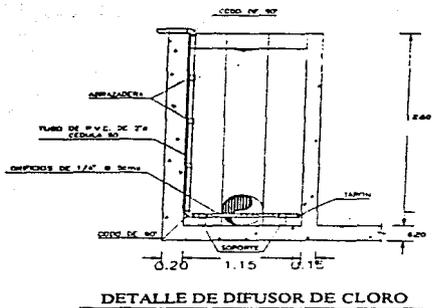


FIGURA 3.10 TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

$W = 12.3 \text{ m}$  y por tanto el largo del mismo es de  $24.6 \text{ m}$ .

Ahora bien, calculando la capacidad de bombeo de agua tratada:

$$\begin{aligned} \text{Si: } Q &= 15 \text{ lts/s} \\ \text{Densidad del agua} &= 100 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Vel. del agua} &= 2.0 \text{ m/s} \\ m &= 15 \text{ kg/s} \\ H &= 6.514 \text{ m} \end{aligned}$$

Potencia de la bomba ( $P_b$ ) =  $1.3 \text{ kg m/s} = 1.3 \text{ c.v.}$ ; y si la potencia al freno ( $P_t$ ) para el equipo se calcula como:

$P_t = P_b / \text{eficiencia}$ ; tomando el valor de 0.60 para la eficiencia, tenemos que,  $P_t = 2.38 \text{ hp}$ , recomendándose un valor de 3.0 hp por razones comerciales.

### 3.8 CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA

Si las pérdidas en las tuberías y las correspondientes locales se calculan:

$$H_{fL} = \frac{fLQ^2}{D^{5.33}}$$

$$H_{fL} = \frac{KQ^2}{2g \cdot A^2}; \text{ tenemos:}$$

**1.- Caja de distribución al tanque de aireación 1.**

Carga hidráulica = 2.4 m

Longitud de tubería = 266 pies con diámetro de 8"

Codo 90° = 6 piezas

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 114 ft

Longitud de tubería total = 114 + 266 = 380 ft

Caida de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 3.8 = 0.46 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.323 mca. Por tanto la carga dinámica = 2.077 m.

**2.- Caja de distribución al tanque de aireación 2.**

Carga hidráulica = 2.4 m

Longitud de tubería = 314.9 ft con diámetro de 8"

Codo 90° = 4 piezas

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 76 ft

Codo 45° = 1 pieza

Relación longitud/diámetro = 16

Longitud equivalente = 11 ft

Longitud de tubería total =  $314.9 + 76 + 11 = 401.9 \text{ ft}$

Caida de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 4.019 = 0.486 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.341 mca. Por tanto la carga dinámica = 2.06 m

### 3.- Caja de distribución a tanque de aireación 3.

Carga hidráulica = 2.4 m

Longitud de tubería = 370 ft con diámetro de 8"

Codo 90° = 1 pieza

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 19 ft

Longitud de tubería total = 370 + 19 = 389 ft

Caida de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 3.89 = 0.47 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.330 mca. **Por tanto la carga dinámica = 2.077 m.**

### 4.- Tanque de aireación 1 a tanque de cloración.

#### Tramo 1

Carga hidráulica = 2.077 m

Longitud de tubería = 198.5 ft con diámetro de 8"

Codo 90° = 1 pieza

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 19 ft

Codo 45° = 3 piezas

Relación longitud / diámetro = 16

Longitud equivalente = 33 ft

Longitud de tubería total = 198.5 + 19 + 33 = 250.5 ft

Caida de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 2.505 = 0.302 \text{ lb/in}^2$

## Tramo 2

Carga hidráulica = 2.077 m

Longitud de tubería = 3.281 ft con diámetro de 12"

Codo 90° = 2 piezas

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 60 ft

Longitud de tubería total = 3.281 + 60 = 63.281 ft

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 0.6328 = 0.076 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.0537 mca. Por tanto la carga dinámica = 1.81 m.

## 5.- Tanque de aireación 2 a tanque de cloración.

### Tramo 1

Carga hidráulica = 2.06 m

Longitud de tubería = 157.5 ft con diámetro de 8"

Codo 90° = 1 pieza

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 19 ft

Longitud de tubería total = 157.5 + 19 = 176.5 ft

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 1.765 = 0.213 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.149 mca.

### Tramo 2

Carga hidráulica = 2.06 m

Longitud de tubería = 3.28 ft con diámetro de 12"

Codo 90° = 2 piezas

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 60 ft

Longitud de tubería total = 3.28 + 60 = 63.28 ft

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 0.632 = 0.037 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.053 mca.

### Tramo 3

Carga hidráulica = 2.06 m

Longitud de tubería total = 26.24 ft con diámetro de 10"

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 0.2624 = 0.031 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.022 mca. Por tanto la carga dinámica = 1.835 m.

### 6.- Tanque de aireación 3 a tanque de cloración.

#### Tramo 1

Carga hidráulica = 2.07 m

Longitud de tubería = 223.1 ft con diámetro de 8"

Codo 90° = 1 pieza

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 19 ft

Codo 45° = 1 pieza

Relación longitud/diámetro = 16

Longitud equivalente = 11 ft

Longitud de tubería total =  $223.1 + 19 + 11 = 253.1 \text{ ft}$

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 2.53 = 0.306 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.215 mca.

#### Tramo 2

Carga hidráulica = 2.07 m

Longitud de tubería = 3.28 ft con diámetro de 12"

Codo 90° = 2 piezas

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 60 ft

Longitud de tubería total =  $3.28 + 60 = 63.28 \text{ ft}$

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 0.632 = 0.076 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.053 mca.

### Tramo 3

Carga hidráulica = 2.07 m

Longitud de tubería total = 26.24 ft con diámetro de 10"

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 0.2624 = 0.031 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.022 mca. Por tanto la carga dinámica = 1.779 m.

### 7.- De tanque de cloración a tanque de almacenamiento.

Carga hidráulica = 0.20 m

Longitud de tubería = 52.49 ft con diámetro de 12"

Codo 90° = 6 piezas

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente  $\approx$  180 ft

Longitud de tubería total =  $52.49 + 180 = 232.49 \text{ ft}$

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 2.32 = 0.281 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.197 mca. Por tanto la carga dinámica = 0.0025 m

### 8.- Del tanque de almacenamiento a la bomba.

#### Tramo 1

Carga hidráulica = 2.30 m

Longitud de tubería = 10.827 ft con diámetro de 4"

Codo 90° = 1 pieza

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 60 ft

Longitud de tubería total =  $10.82 + 60 = 70.82 \text{ ft}$

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 0.70 = 0.084 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.059 mca.

## Tramo 2

Carga hidráulica = 2.30 m

Longitud de tubería = 59.05 ft con diámetro de 4"

Codo 90° = 1 pieza

Relación longitud/diámetro = 30

Longitud equivalente = 10 ft

Válvula Check:

Relación longitud/diámetro = 135

Longitud equivalente = 45 ft

Válvula de compuerta

Relación longitud/diámetro = 13

Longitud equivalente = 4.5 ft

Longitud de tubería total = 59.05 + 10 + 45 + 4.5 = 118.55 ft

Caída de presión =  $0.121 \text{ lb/in}^2 \times 1.18 = 0.143 \text{ lb/in}^2$

Si  $1 \text{ lb/in}^2 = 0.7022 \text{ mca}$  entonces la caída de presión será de 0.101 mca. Por tanto la carga dinámica = 2.14 m.

De esta manera se termina el cálculo de pérdidas de carga del sistema, concluyendo el presente capítulo.

## **CAPITULO 4**

# **ESTUDIOS BASICOS E INGENIERIA DE DETALLE**

## **4.- ESTUDIOS BASICOS E INGENIERIA DE DETALLE**

### **4.1.- ESTUDIOS PRELIMINARES**

#### **4.1.1 TOPOGRAFIA**

La delegación de Tlahuac tiene una superficie de 101.16 km<sup>2</sup>, representando el 6.67 % del área total del D.F. Colinda al norte con la delegación Iztapalapa, en la avenida Tlahuac en los puntos de las cimas de los volcanes Xaltepec, Tetecon y Guadalupe. Al este colinda con los Municipios de Iztapalapa y Chalco del estado de México en el canal general, con la carretera Tlahuac-Chalco, en el canal Amecameca y caminos rurales. Al sur limita con la delegación Milpa Alta en caminos rurales y en el volcán Teutli, así mismo colinda con la delegación Xochimilco en los canales Caltongo y Chalco. Al oeste limita con la delegación Iztapalapa en las calles Piraña, Turba y una parte de la calzada Tlahuac.

El área de influencia para este estudio es una superficie de 150 ha aproximadamente, perteneciente a la zona urbana del pueblo de Santa Catarina Yecahuizotl y ampliación Santa Catarina. La porción central de la delegación se constituye por una superficie plana correspondiente a la zona lacustre de los antiguos lagos de Chalco y Xochimilco, con una altitud de 2,235 msnm. Hacia el norte presenta un relieve escarpado correspondiente a los volcanes de la sierra de Santa Catarina como son Xaltepec (2,460 msnm), Guadalupe (2,750 msnm) y el cerro Tetecon (2,470 msnm). Hacia el sur se presenta el relieve escarpado y de fuerte pendiente del Volcán Teutli (2,700 msnm).

El terreno donde se efectuará el proyecto es totalmente plano, con un área igual a 12,065 m<sup>2</sup>, se localizará al sur del eje vial 10 sur, junto a la planta Liconsá, próximo a la autopista México -Puebla. Fig. 4.1

#### **TRAZO Y NIVELACION**

El trazo y la nivelación en razón a la exactitud requerida, podrán ejecutarse mediante el empleo de hilos, estacas, plomada, brújula, cinta metálica, estadal, baliza, niveletas, nivel de manguera, nivel montado, dinamómetro, tránsito y demás equipos y herramientas que sean necesarios para obtener la precisión indicada en el proyecto según el caso, y la correcta ejecución de los trabajos.

Para señalar los puntos de los ejes o vértices de ángulos sobre el terreno, se usarán estacas de madera, acero o mojoneras de concreto, clavando o ahogando sobre la cabeza de las mismas una tachuela o clavo que marque el centro del eje o el vértice del ángulo.

Los bancos de nivel necesarios deberán ser marcados en el terreno sobre mojoneras de concreto con una varilla o saliente que defina el punto de cota.

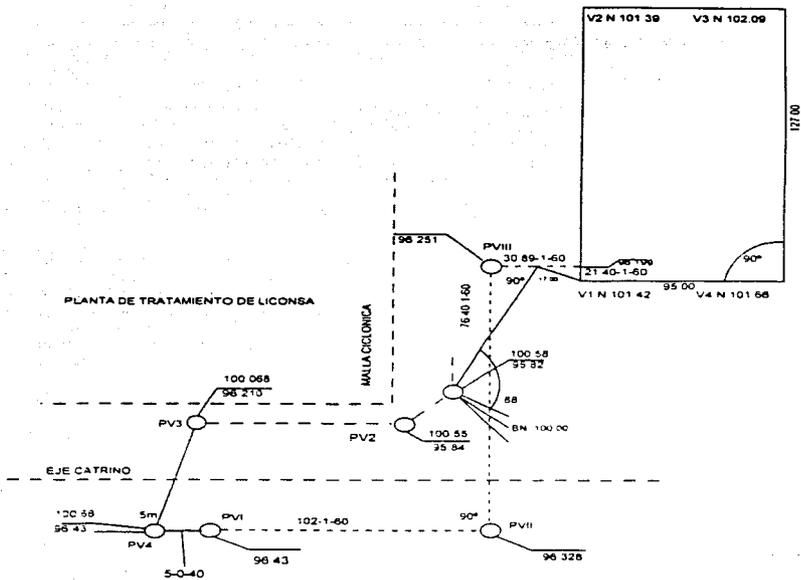


FIGURA 4.1 TOPOGRAFIA DEL PREDIO DE ANTEPROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Cuando las estructuras estén constituidas por más de un nivel o piso, en cada uno de ellos se efectuarán los trazos y niveles necesarios, siempre referidos a los ejecutados sobre el terreno. Los trazos de estructuras deberán ejecutarse mediante la utilización de aparatos e instrumentos de topografía que garanticen una precisión dentro de las tolerancias siguientes:

a) Para todo tipo de estructura excepto las estructuras de acero.

$$\begin{aligned} \text{Angular} &= 30'' (n)^{0.5} \\ \text{Lineal} &= 1/5,000 \\ n &= \text{Número de ángulos del polígono.} \end{aligned}$$

La medida del ángulo será repetida tres (3) veces como mínimo, las visuales se tomarán al hilo de la plomada. La cinta debe ponerse horizontal con nivel de mano y la tensión de ésta será de 4 kilogramos ( 4 kg ) por cada 20 m o fracción de cinta métrica.

b) Para las estructuras de acero.

$$\begin{aligned} \text{Angular} &= 15'' \text{ a } 20'' (n)^{0.5} \\ \text{Lineal} &= 1/1,000 \\ n &= \text{Numero de ángulos del polígono} \end{aligned}$$

La medida de los ángulos será repetida tres ( 3 ) veces como mínimo. Si el aparato aproxima medio minuto y cada medida será el promedio de las lecturas en los vernieres del aparato, las visuales se tomarán a señales plomeadas, tensada la cinta a 4 o 5 kg por cada 20 m o fracción de cinta de acero medido con dinamómetro

#### 4.1.2. MECANICA DE SUELOS

##### ZONIFICACION GEOTECNICA

El sitio en estudio se ubica en la zona del Lago , según la zonificación geotécnica del Valle de México; se caracteriza por los grandes espesores de arcillas blandas de alta compresibilidad, que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable en cada sitio.

Como el terreno se encuentra cercano a la sierra de Santa Catarina, el espesor de las arcillas es variable a lo largo del predio, siendo ligeramente más reducido hacia la dirección Oriente . Por ello en esta zona a consecuencia del hundimiento regional del Valle, se presentan asentamientos diferenciales que generan problemas de fisuramiento del suelo, desarrollando grietas cubiertas por los estratos aluvios lacustres depositados en épocas recientes

## ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES MECANICAS

Para precisar la estratigrafía del sitio se realizaron los trabajos que se enuncian, y cuya localización aparece en la fig. 4.2 . Dos sondeos de cono eléctrico, que permitieron determinar la variación con la profundidad de la resistencia del suelo a la penetración de la punta del cono. También se perforaron dos sondeos mixtos, combinando la técnica de muestreo para recuperar muestras inalteradas de suelo con la de penetración estándar, en las que mediante pruebas de laboratorio se calcularon las propiedades índice, y los parámetros de resistencia y deformabilidad correspondientes. Para establecer las características de los suelos superficiales se excavaron 2 pozos a cielo abierto, obteniendo muestras de suelo integrales e inalteradas. Los registros de los sondeos y pozos se muestran en las figuras 4.3 a 4.9.

## ENSAYES DE LABORATORIO

Con las muestras inalteradas y representativas de los diversos estratos de interés, se realizaron las siguientes pruebas índice:

- Clasificación visual y al tacto
- Contenido de agua
- Límites de consistencia
- Densidad de sólidos
- Granulometría
- Peso volumétrico

Los ensayos mecánicos efectuados con las muestras inalteradas para la determinación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante fueron :

- Consolidación unidimensional
- Prueba triaxial no consolidada - no drenada

Los resultados de los ensayos triaxiales y de consolidación se muestran en las figuras 4.10 a 4.13.

## INTERPRETACION ESTRATIGRAFICA

A partir de los resultados de los trabajos de campo y de laboratorio y del conocimiento que se tiene de la zona, la estratigrafía del sitio puede de manera resumida describirse como sigue:

- a) Costra superficial ( de 0.0 a 5.2 m ) está compuesta por los siguientes estratos:

De 0.0 a 1.0 m. Arcilla de color café oscuro con abundantes raíces y partículas de caliche, material plástico de consistencia blanda, con un contenido de agua del 75% .

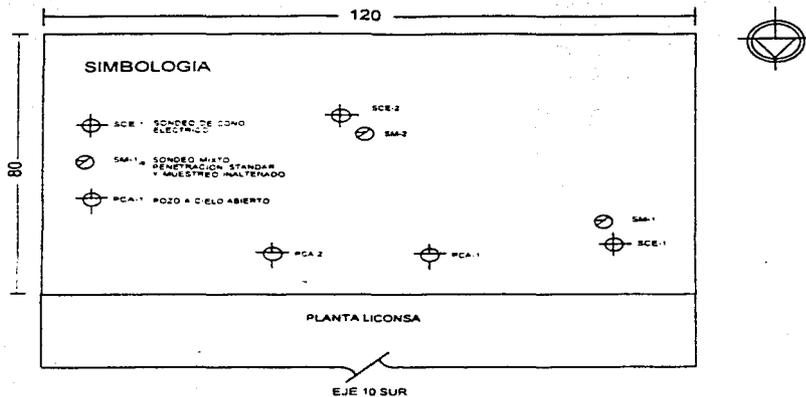


FIGURA 4.2 UBICACION DE SONDEOS Y POZOS A CIELO ABIERTO

Planta de Tratamiento de Aguas Negras  
Planta de Chalco, Santa Catarina  
Tlahuac D.F.

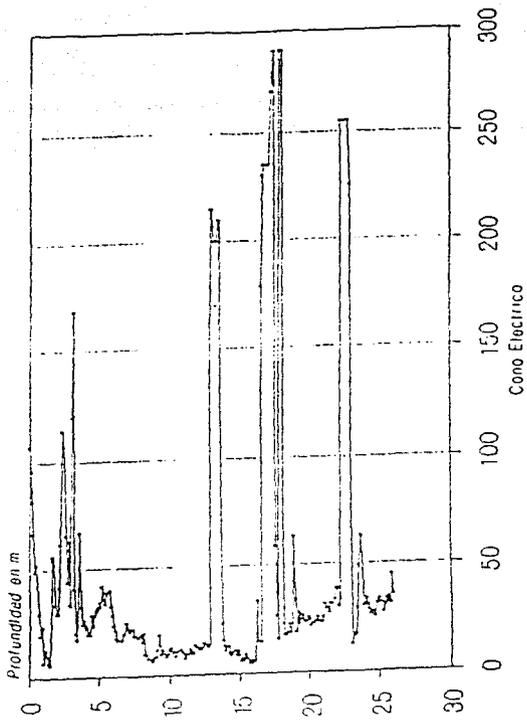


FIGURA 4.3 SONDEO DE CONO ELECTRICO I

Planta de Tratamiento de Aguas Negras  
Planta de Chalco, Santa Catarina  
Tlahuac D.F.

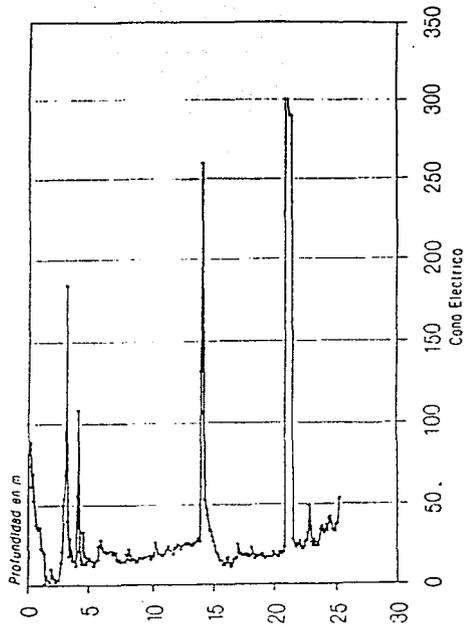


FIGURA 4.4 SONDEO DE CONO ELECTRICO 2

OBRA: SANTA CATARINA  
 LOCALIZACION: COLEGIO N.º 1  
 FECHA DE MEMORIAS: 15 DE ABRIL DE 1963  
 INSTRUMENTOS DE AVANCE: P.M. 100, 545.00, 10.000  
 MUESTRADOS EMPLEADOS: 54, 55, 56, 57, 58, 59

SONDEO N.º MIXTO 1  
 ELEV. BROCAL MTS.  
 TIPO DE SONDEO: PERFORACION ESTACIONARIA  
 255.33 (ABIERTO)

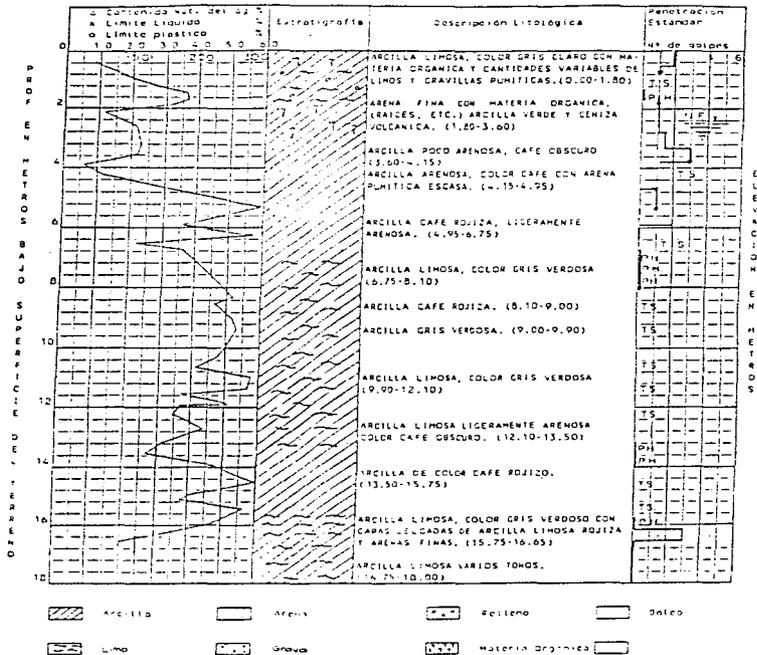


FIGURA 4.5 SONDEO MIXTO 1 ( DE 0 - 18 M DE PROFUNDIDAD )

OBRA: ZARZA PATARINA  
 LOCALIZACION: DELEGACION TLANAHUAC, MEX. D.F.  
 FECHA DE PERFORACION: 2 DE AGOSTO DE 1933  
 HERRAMIENTAS DE AVANCE: PER. EST. - SHELBY TRIMICO  
 MUESTRADORES EMPLEADOS: DR. CARO SHELBY

SONDEO N°: MEXICO  
 ELEV. BROCAL MET.:  
 TIPO DE SONDEO: PENETRACION ESTANDAR  
 SHELBY (MIXTO)

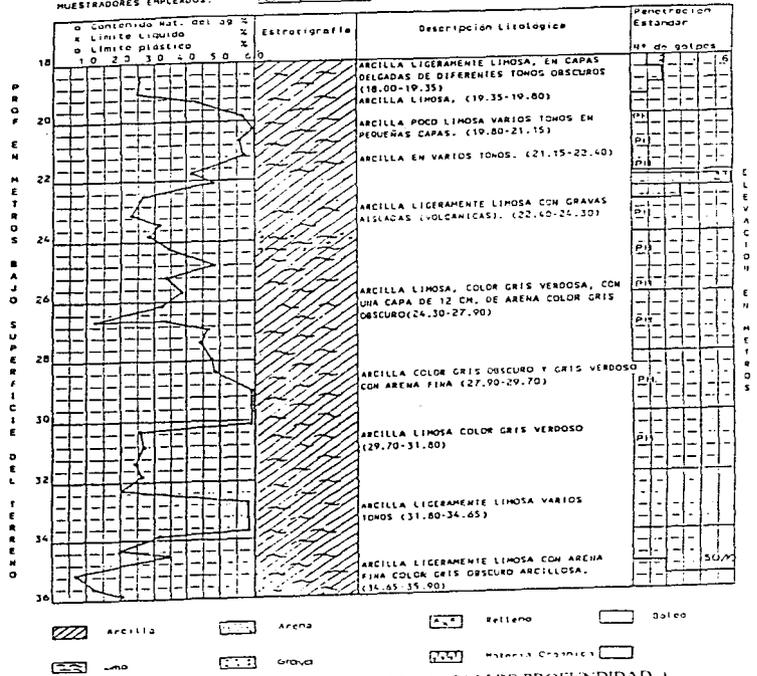


FIGURA 4.06 SONDEO MIXTO - 1 ( DE 18 - 36 M DE PROFUNDIDAD )

OBRA: SEMPER PARADO SONDED N°: 134  
 LOCALIZACIÓN: ESTACION 10 ELEV. BRUCEL MIS: 100  
 FORMA DE PERFORACION: PERFORACION (100) 1 PO DE SONDEO: PERFORACION ESTACION 10  
 HERRMIENTAS DE AVANCE: W. P. SUELO (100) SUELO (100)  
 MUESTRADORES EMPLEADOS: W. P. SUELO

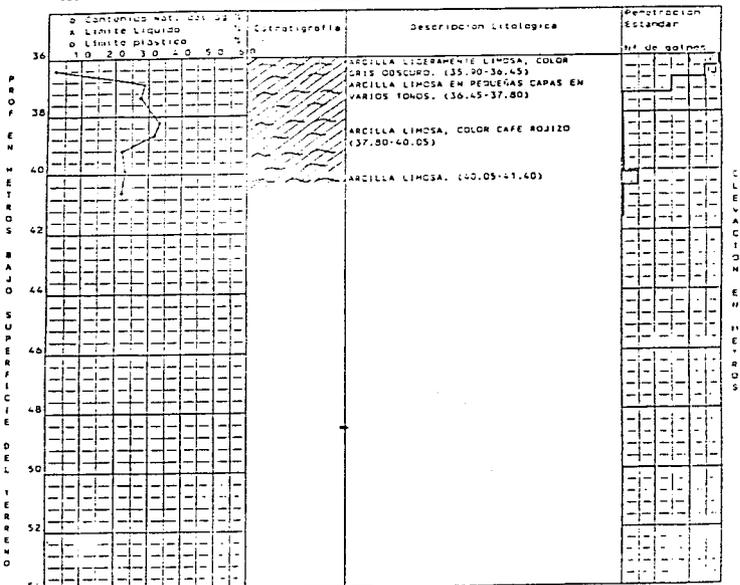
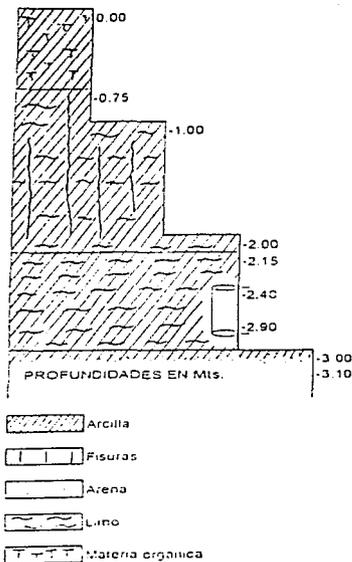


FIGURA 4.7 SONDEO MIXTO - 1 ( DE 36 - 42 M DE PROFUNDIDAD )

POZO A CIELO ABIERTO N°1 (PCA-1)



M-1 0.00 a 0.75 Mis.

Material arcilloso de color café oscuro, contiene mucha raíz de pasto, es un material plástico y tiene una resistencia blanda, también tiene partículas de caliche.

M-2 0.75 a 2.15 Mis.

Material arcilloso limoso de color al fresco blanco y al intemperismo blanco grisáceo tiene propiedades plásticas, es de una dureza blanda, contiene granos de caliche, además se aprecian grandes fisuras, algunas hasta de 2" esto es debido a la disecación.

M-3 2.15 a 3.00 Mis.

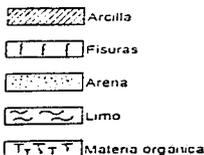
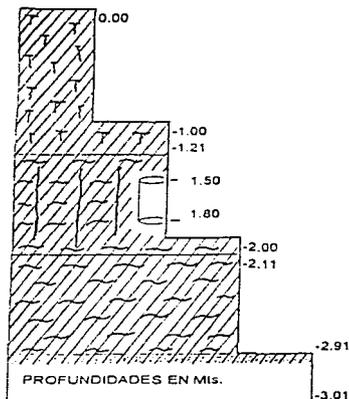
Material arcilloso limoso de color café oscuro, es de una resistencia blanda, contiene propiedades plásticas, contiene muy pocos rasgos de caliche, se encuentran saturadas de humedad, en esta capa no se presentan las fisuras como en la capa anterior, a los 3.00 Mis. se encuentra el nivel freático.

M-4 3.00 a 3.10 m.

Material arcilloso arenoso con color al fresco, café claro, al intemperismo, café oscuro en esta capa se presenta el nivel freático en semiplástico, es de una resistencia semidura.

FIGURA 4.8 POZO A CIELO ABIERTO No. 1 (PCA-1)

**POZO A CIELO ABIERTO N°2 (PCA-2)**



**M-1 0.00 a 1.21 Mis.**

Material arcilloso de color café oscuro, contiene mucha raíz de pasto, es un material plástico y tiene una resistencia blanda, también tiene partícula de caliche.

**M-2 1.21 a 2.11 Mis.**

Material arcilloso limoso de color al fresco blanco y al intemperismo blanco grisáceo tiene propiedades plásticas; es de una dureza blanda, contiene granos de caliche, además se aprecian grandes fisuras, algunas hasta de 2" esto es debido a la disecación.

**M-3 2.11 a 2.91 Mis.**

Material arcilloso limoso de color café oscuro, es de una resistencia blanda, contiene propiedades plásticas; contiene muy pocos rasgos de caliche, se encuentran saturadas de humedad, en esta capa no se presentan las fisuras como en la capa anterior, a los 3.00 Mis. se encuentra el nivel freático.

**M-4 2.91 a 3.01 Mis.**

Material arcilloso arenoso con color al fresco, café claro, al intemperismo, café oscuro en esta capa se presenta el nivel freático en semiplástico, es de una resistencia semidura.

**FIGURA 4.9 POZO A CIELO ABIERTO No. 2 (PCA -2)**

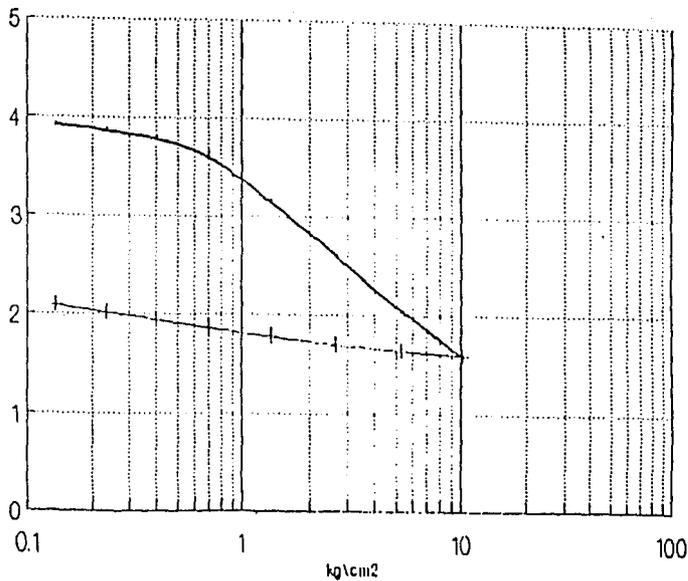


FIGURA 4.10 CONSOLIDACION UNIDIMENCIONAL(SONDEO 1 DE 3.66 - 4.03 M)

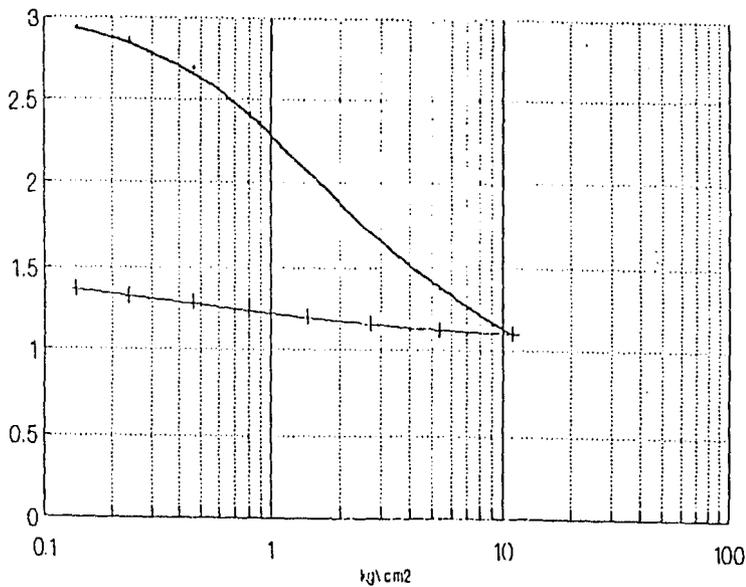


FIGURA 4.11 CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL. (SONDEO 1 DE 8.65 - 8.75 M)

CLRA Sonda Caspary  
 EDIFICIO C/111  
 PROF. 4634.12m

CONSOLIDADA, NO DRENADA  
 O CONSOLIDADA, NO DRENADA  
 O CONSOLIDADA, DRENADA

### CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL

Grupo	V <sub>3</sub> kg/cm <sup>2</sup>	Y <sub>3</sub> Ton/cm <sup>3</sup>	w <sub>3</sub> %	e <sub>1</sub> %	C <sub>u</sub> kg/cm <sup>2</sup>	(σ <sub>3</sub> ) <sub>max</sub>
1	0.2	1.702				0.50
2	0.4	1.725				0.56
3	0.6	1.75				0.61

RESULTADOS PROMEDIO	
r =	Ton/cm <sup>2</sup>
w <sub>3</sub> =	%
e <sub>1</sub> =	%
C <sub>u</sub> =	%
C <sub>u</sub> =	kg/cm <sup>2</sup>
C <sub>u</sub> =	kg/cm <sup>2</sup>

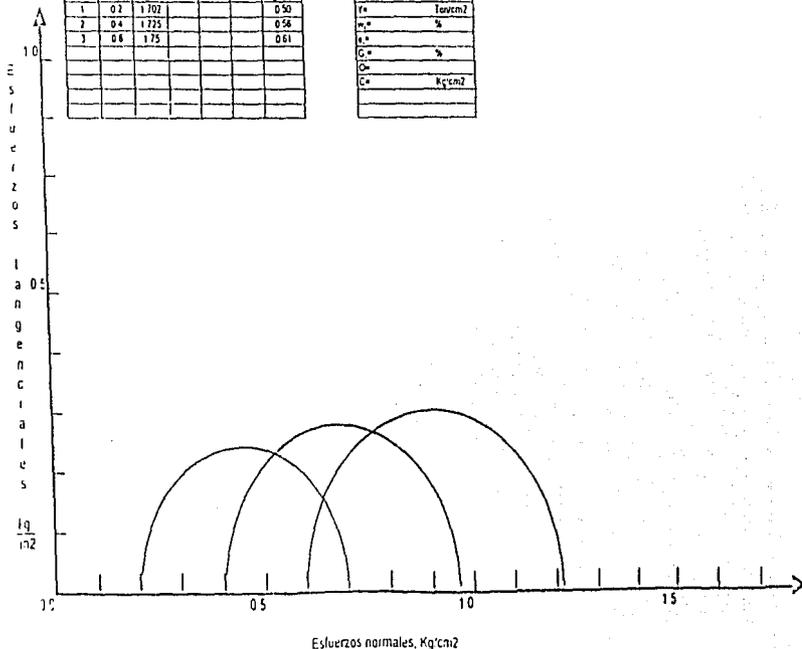


FIGURA 4.12 PRUEBA TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA ( SONDEO SMM-I, DE 4.03 - 4.20 M DE PROFUNDIDAD)

CSRA Santa Catalina  
 SONDEO SMM-1  
 PROF. 8.60 a 8.81 m

X NO CONSOLIDADA, NO LIXIVIADA  
O CONSOLIDADA, NO DRENADA  
O CONSOLIDADA, DRENADA

**CIRCULOS DE MOHR**  
**COMPRESION TRIAXIAL**

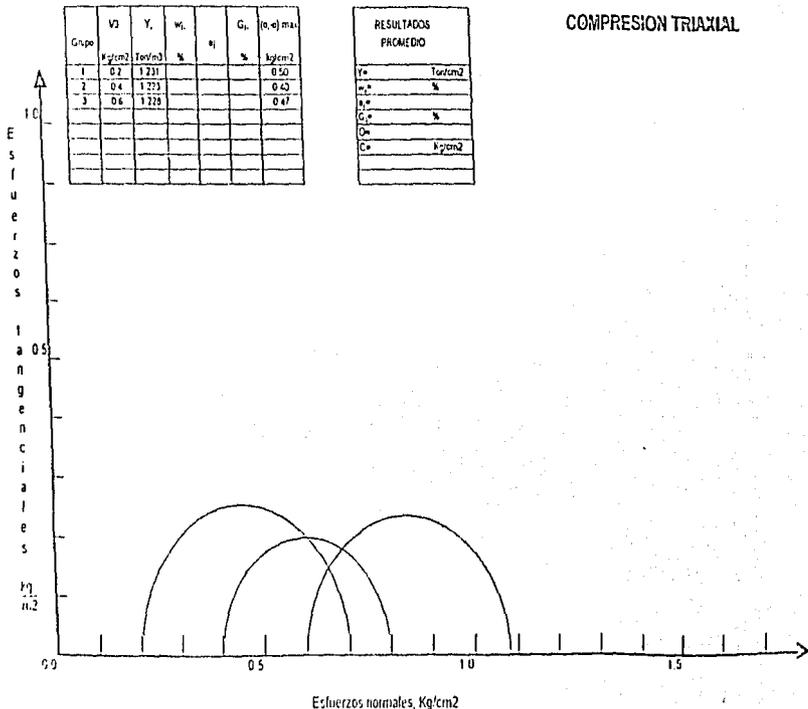


FIGURA 4.13 PRUEBA TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA ( SONDEO SMM-1, DE 8.60 - 8.80 M DE PROFUNDIDAD)

De 1.0 a 2.1 m: Arcilla limosa de color grisáceo con grumos de caliche, material plástico de consistencia blanda con abundantes fisuras de hasta 5 mm, ocasionadas por problemas de desecación. Su contenido de agua medio es 115 %, con un peso volumétrico de 1.2 ton/m<sup>3</sup>, y una cohesión no drenada igual a 2.8 ton/m<sup>2</sup>.

De 2.1 a 5.2 m. Arcilla limosa de color café oscuro, plástica de consistencia blanda, con arena fina, ceniza volcánica y materia orgánica. Mediante las pruebas índice se determinó un contenido de agua de 115 %, cuyo límite líquido y plástico medio es de 337 % y 108 %, un peso volumétrico igual a 1.2 ton/m<sup>3</sup>. La cohesión obtenida en pruebas triaxial rápida resultó igual a 2.2 ton/m<sup>2</sup>.

B) Serie lacustre superior (de 5.2 a 41.0 m) La serie lacustre superior está formada por una secuencia de arcillas limosas y limos arcillosos de consistencia media y alta compresibilidad, intercaladas por numerosos estratos de arena y limo, de los cuales los principales estratos se citan a continuación:

De 5.2 a 6.7 m: Limo arcilloso café con material pumítico y arcilla arenosa con arena pumítica; su contenido de agua es 125 %.

De 6.7 a 13.35 m: Arcilla limosa de diferentes colores con arena fina y material pumítico; en algunas zonas se incrementa el porcentaje de limo. De las pruebas índice se determinó un contenido de agua de 200 %. El límite líquido y plástico medio es de 200 % y 108 % y un peso volumétrico igual a 1.2 ton/m<sup>3</sup>. La cohesión obtenida en prueba triaxial rápida resultó igual a 2.5 ton/m<sup>2</sup>.

De 13.35 a 14.4 m: Arena fina aluvial gris oscuro mezclada con arcilla. La resistencia de punta media registrada con el cono eléctrico fue de 220 kg/cm<sup>2</sup>.

De 14.4 a 18.8 m. Arcilla limosa de color gris verdoso, gris oscuro y café rojizo. De las pruebas índice se determinó un contenido de agua de 180 %, donde el límite líquido y plástico medio es de 232 % y 72 %, un peso volumétrico igual a 1.2 ton/m<sup>3</sup>. La cohesión obtenida en pruebas triaxial rápida resultó igual a 3.00 ton/m<sup>2</sup>.

De 18.8 a 19.95 m. Arcilla arenosa gris verdosa. La resistencia de punta media registrada con el cono eléctrico fue de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

De 19.95 a 24.10 m. Arcilla limosa de colores gris verdoso y gris oscuro con algunos lentes de arena fina. Su contenido de agua es 125 %.

De 24.1 a 30.5 m. Arcilla limosa gris obscura y gris verdoso, con lentes de arena fina. De las pruebas índice se determinó un contenido de agua de 220 %, que el límite líquido y plástico medio es de 152 % y 50 %.

De 30.5 a 32.2 m. Arcilla limosa de color gris verdoso de consistencia blanda, con un contenido de agua igual a 125 %.

De 32.2 a 35.0 m: Arcilla plástica de consistencia blanda de color café gris verdoso con un contenido de agua de 250 %.

De 35.0 a 36.25 m: Arcilla poco limosa de color gris oscuro plástico y de consistencia blanda, con arena fina. Su contenido de agua medio resultó igual a 100 %.

De 36.5 a 41.0 m: Arcilla limosa plástica y de consistencia blanda, de color gris oscuro y café rojizo con un contenido de agua medio de 150 %.

La lectura hidráulica efectuada en el tubo de observación indica que el nivel de agua freático se localiza a 2.5 m de profundidad, referidos al nivel del terreno natural.

#### **4.1.3 REUSOS DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS**

México es un país que en la actualidad confronta una destacada escasez y contaminación de sus fuentes de agua. El acelerado crecimiento poblacional e industrial de los últimos años, ha contribuido de manera importante a la acentuación de esta problemática.

Cada día, la demanda de agua requerida para el consumo humano, industrial, agrícola, etc., es creciente, y consecuentemente la generación de aguas residuales lo es. El aumento en el volumen y grado de contaminación de las aguas residuales hacen difícil su tratamiento, por lo que se tienen numerosos problemas para su manejo y control.

Una de las alternativas sugeridas para aliviar esta problemática es el reuso de las aguas residuales en la agricultura. En México, esta es una actividad que tiene cerca de 80 años de practicarse. Sin embargo, su aprovechamiento generalmente se ha efectuado en forma no controlada, pocas han sido las medidas implementadas para prevenir los efectos nocivos que este tipo de agua puede causar al sistema - suelo - planta - animal - hombre. La utilización de las aguas residuales en la agricultura se ha incrementado considerablemente en los últimos años y dada la escasez y grado de contaminación de las fuentes de abastecimiento para el consumo urbano, se prevee que esta práctica se incrementará en forma notable en los próximos años.

El aprovechamiento más significativo en México de agua residual para riego, se tiene en el distrito de riego 03 en Tula, Edo. de Hidalgo, donde se riegan hoy en día más de 50,000 hectáreas (ha).

Otras regiones que aprovechan aguas residuales para riego son: los distritos de riego 030 Valsequillo, en el estado de Puebla, el 088 Chalco-Chiconautla, en el estado de México; 100 Alfajayucan, en el estado de Hidalgo y el 09 de Ciudad Juárez, estado de Chihuahua.

Actualmente en el país se riega con agua residual una superficie estimada de 185,000 ha, con un volumen anual de 2,455 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales el 44 % corresponde al riego con agua residual proveniente de la Ciudad de México. Lo anterior significa que aproximadamente el 4% de la superficie de riego actual en el país, emplea agua residual.

El empleo de las aguas residuales en la agricultura es una práctica que proporciona algunos beneficios cuando se utiliza de manera controlada, sin embargo su uso inadecuado puede ocasionar severos daños a la salud humana y animal, a la capacidad productiva del suelo, a los cultivos y a la calidad de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

En México la aplicación de las aguas residuales en el riego agrícola generalmente se realiza en forma "cruda", esto es, sin tratamiento previo. En otros casos cuando se llegan a someter a algún tipo de tratamiento, o es insuficiente o es inadecuado para el fin al que se está destinado.

En cuanto a los estudios realizados en México a cerca de los efectos que causan las aguas residuales al sistema suelo - planta - animal - hombre, estos se han concentrado en su mayoría en las zonas aledañas al área metropolitana de la ciudad de México ( D R. 03, D R. 88, D R. 100 y Lago de Texcoco ).

Al respecto se ha considerado importante el análisis de tres aspectos básicos.

- 1).- Efectos causados por los constituyentes del agua residual al sistema suelo - planta - animal - hombre
- 2).- Prácticas de manejo agrícola o de otro tipo que contribuyan a la atenuación de los posibles efectos adversos al sistema mencionado.
- 3).- Establecimiento de concentraciones permisibles para los constituyentes analizados, tomando en cuenta la información proporcionada por los incisos 1 y 2 .

El orden que se propone para el estudio de los efectos causados por los constituyentes del agua residual al sistema suelo - planta - animal - hombre, obedece al grado de abundancia del contaminante en las aguas residuales y sobre todo a la magnitud de los problemas inmediatos que puedan causar al sistema mencionado. Dicho orden se enuncia a continuación.

- 1) Sales disueltas
- 2) Elementos traza
- 3) Patógenos
- 4) Detergentes (abs)
- 5) Carga orgánica
- 6) Nutrientes
- 7) Sólidos suspendidos
- 8) Grasas y aceites
- 9) pH
- 10) Otros compuestos

En la tabla 4.1 se mencionan los reusos más comunes de aguas residuales y sus efectos.

## **4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL**

Los datos relativos a las geometrías y pesos de las estructuras más importantes que conforman la planta de tratamiento, se citan en la tabla 4.2.

### **4.2.1 ANALISIS ESTRUCTURAL EN CONDICIONES ESTATICAS Y SISMICAS**

a) TIPO DE CIMENTACION - Tomando en cuenta las características estratigráficas y el tipo de estructuras que conforman a la planta, el tipo de cimentación más adecuada para las estructuras principales, consisten en cajones, sus dimensiones se citan en la tabla 4.2. Las estructuras complementarias, tales como caseta de vigilancia, tolvas, etc se cimentaran con una losa corrida de concreto reforzado.

b) PROFUNDIDAD DE DESPLANTE: - Las profundidades de desplante para los cajones de cimentación, se deberan de medir a partir del nivel de terreno natural, antes de realizar el despalme del predio. Los valores para los diversos inmuebles se especifican en la tabla 4.2.

Las losas corridas de cimentación se desplantaran sobre el terreno natural, previo despalme de 0.5 m.

c) DISEÑO DE LA LOSA DE FONDO DEL CAJON - La losa de fondo del cajón y las losas de cimentación propiamente dichas, deberán diseñarse para resistir el peso total de las estructuras, considerando los máximos niveles de agua, ver tabla 4.2. El módulo de reacción que podrá emplearse en el diseño, es de  $1.2 \text{ kg/cm}^2$ .

APLICACION	USOS		EFECTOS	
	DIRECTOS	INDIRECTOS	NEGATIVOS	POSITIVOS
MUNICIPAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Riego de parques y jardines</li> <li>* Riego de prados mediante sistemas de distribución separados</li> <li>* Fuente potencial para suministro de agua a nivel municipal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Recarga de acuíferos para reducir la sobre explotación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Altas inversiones en dispositivos de tratamiento</li> <li>* Rechazo por parte de la población</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Optimización del recurso</li> <li>* Aprovechamiento de los volúmenes de aguas residuales generales</li> <li>* Disminución de los volúmenes de descarga</li> </ul>
INDUSTRIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Agua para enfriamiento</li> <li>* Agua para alimentación de calderas</li> <li>* Agua de proceso</li> <li>* Agua para servicios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Reducción de agua subterránea de abastecimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Incremento en los costos de insulación y operación de sistemas de tratamiento</li> <li>* Posibles daños al equipo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Disminución en el consumo de agua potable</li> <li>* Control de descargas</li> <li>* Decremento en el costo del agua de suministro</li> </ul>
AGRICOLA	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Irrigación de ciertas tierras, cultivos, huertos, pastizales y bosques, filtración en suelos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Reducción de agua subterránea de abastecimiento para la agricultura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Disminución en el rendimiento de las cosechas en ciertos cultivos</li> <li>* Aumento en la concentración de sales minerales y de metales tóxicos</li> <li>* Cambios fisiológicos en plantas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Incorporación de nutrientes al suelo y plantas con grandes requerimientos de estos</li> <li>* Apertura de nuevas zonas de cultivo</li> <li>* Reducción del uso de agua de primer uso</li> </ul>

TABLA 4.1 REUSOS DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS

APLICACIÓN	USOS		EFECTOS	
	DIRECTOS	INDIRECTOS	NEGATIVOS	POSITIVOS
RECREATIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Formación de lagos artificiales para navegación de pequeñas embarcaciones, natación etc.</li> <li>* Agua de alimentación de albercas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Desarrollo de pesca y aves</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Disminución en la diversidad de especies</li> <li>* Habitat ideal para la proliferación de malezas acuáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Aumento de las zonas de recreo</li> <li>* Apertura de zonas turísticas</li> <li>* Nuevas fuentes de ingresos</li> </ul>
PISCICOLA	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Establecimiento de nuevas estaciones piscícola</li> <li>* Incremento en el nivel freático de zonas potencialmente piscícola</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Proliferación de otras especies acuáticas</li> <li>* Aumento de especies de consumo por el pie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Acumulación de sustancias tóxicas en ciertos casos</li> <li>* Proliferación de insectos</li> <li>* Mal sabor al pescado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fuentes de alimento</li> <li>* Fuentes de trabajo</li> <li>* Conservación de los recursos</li> </ul>
OTROS	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Recarga de acuíferos para el control de la intrusión salina y control de sales en el agua subterránea</li> <li>* Agentes compactantes de desechos sólidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Recarga de acuíferos para el control de los problemas de hinchamiento del suelo</li> <li>* Compactación de suelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Posibles cambios en la calidad del agua del acuífero</li> <li>* Posible proliferación de insectos roedores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Aumento sustancial en los niveles freáticos</li> <li>* Reducción en hinchamientos</li> <li>* Incremento en la explotación del recurso</li> </ul>

TABLA 4.1 REUSOS DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS

ESTRUCTURA	PLANTA		H m	PESO, ton/m <sup>2</sup>		CAJON DE CIMENTACION	Df m	PESO, t/m <sup>2</sup>				OBSERVA- CIONES
	B	L		E	C			LLENO		VACIO		
	m	m	m	m	m	m	Pc	Pn	Pc	Pn		
Tanque de almacenamiento	D-34		7	5.5	1.5	40 x 40	3.0	4.2	0.5	4.2	-0.5	vacio máximo 1 semana
Oficinas	6	9	5.8	4.4	1.0	6 x 9	2	2.8	2.6	-	-	-
Almacenamiento	14.5	25	1.8	5.71	1.0	16.5 x 27	2.5	3.5	2	3.5	0.9	vacio largo periodos
Caja de distribucion	2.5	8	2.6	3.7	1.0	8 x 4	1.0	1.4	1.9	-	-	-
Caseta de clotacion	5	6	1.0	3.1	1.0	5 x 6	2	2.8	1.3	-	-	-
Cárcamo de bombeo	D-6		8.0	10.6	1.0	D-6	10	12.6	11.6	12.6	3.2	vacio cortos periodos

PESO E      CORRESPONDE CON EL PESO DE LA ESTRUCTURA  
 PESO C      ES EL PESO DE LA CIMENTACION  
 Df            PROFUNDIDAD DE DESPLANTE  
 Pc            PRESION DE COMPENSACION  
 Pn            PRESION NETA

TABLA 4.2 TIPO DE CIMENTACION Y PESOS DE LAS ESTRUCTURAS

d) **PRESION NETA.**- El valor de la presión neta que aplicarán al terreno de sustentación las cimentaciones formadas por cajones, se determinó con la expresión siguiente, los valores determinados se presentan en la tabla 4.2

$$P_n = W_t - P_c$$

donde :

$$P_n = \text{Presión neta, ton/m}^2$$

$$W_t = \text{Peso total de la estructura, ton/m}^2$$

$$P_c = \text{Presión de compensación, ton/m}^2$$

En el caso del cárcamo de bombeo se consideró para determinar la presión neta, que el tanque de flotación que se utilizara para su construcción, tendrá una altura mínima de 1.5 m, y que posteriormente se rellenará con mortero de arena - cemento en una proporción en volumen 3 : 1

e) **CAPACIDAD DE CARGA.**- La capacidad de carga última del terreno de cimentación se determinó considerando que la superficie de falla se desarrolla en los estratos de arcilla blanda; su evaluación se formalizó como sigue:

$$q_u = c N_c + \bar{\sigma}$$

donde :

$$c = \text{Cohesión media a lo largo de la superficie de falla, } 2.9 \text{ ton/m}^2$$

$$\bar{\sigma} = \text{Esfuerzo efectivo al nivel de desplante, } 3.1 \text{ ton/m}^2$$

$$N_c = \text{Factor de capacidad de carga, } 5.7$$

Manejando un factor de seguridad igual a 3 para condiciones estáticas y uno de 2 para las sísmicas, la capacidad de carga admisible del suelo de cimentación es 6.6 y 10.0 ton/m<sup>2</sup>, respectivamente.

f) **MOMENTO DE VOLTEO.**- El momento de volteo sísmico se calculó con la fórmula que se define enseguida; para el caso del cárcamo de bombeo este momento es resistido totalmente por la pared perimetral. Los valores determinados aparecen en la tabla 4.3 .

$$M_v = \frac{C W H}{Q}$$

donde :

$$W = \text{Peso total de la estructura, ton}$$

$$C = \text{Coeficiente sísmico}$$

$$Q = \text{Factor de comportamiento sísmico}$$

$$H = \text{Altura definida entre el centro de cortante y el desplante de la cimentación, m}$$

ESTRUCTURA	PESO, ton		H m	Q	MOMENTO DE VOLTEO, t-m		MOMENTOS DE INERCIA, m <sup>4</sup>		INCREMENTO DE ESFUERZO, U/m <sup>2</sup>	
	LLENO	VACIO			LLENO	VACIO	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	COMPRES.	TENSION
Tanque de aeracion	7412	6050	6.2	1.5	8088	6602	213333	213333	0.99	0.99
Oficinas	292	-	7.75	2	219	-	162	364	5.3	5.3
Almacenamiento	2516	1972	4.3	1.5	1904	1492	10107	27064	1.8	1.8
Caja de distribucion	106	-	3.6	1.5	67	-	43	171	3.6	3.6
Caseta de cloracion	123	-	3.0	1.5	65	-	63	90	3.2	3.2

TABLA 4.3 INCREMENTO DE ESFUERZO SISMICO EN LA CIMENTACION

g) INCREMENTO DE ESFUERZOS SISMICOS.- El incremento de esfuerzos que produce el momento de volteo sismico a nivel de la cimentación, se determinó con la siguiente expresion.

$$D\sigma = \frac{M_v \cdot y}{I_x} + 0.3 \frac{M_v \cdot x}{I_y}$$

donde:

$M_v$  = Momento de volteo, t-m  
 $I_x$   $I_y$  = Momento de inercia centroidales, m<sup>4</sup>  
 $x$ ,  $y$  = Distancia del centroide de la cimentación a la orilla, m

Los incrementos de esfuerzos obtenidos para las diferentes condiciones de carga, se listan en la tabla 4.3, pudiéndose concluir que para todos los casos, el factor de seguridad mínimo si se compara contra la capacidad de carga sismica del suelo de cimentación, es superior al mínimo requerido de 2.0.

h) **MUROS PERIMETRALES** - Para el diseño de los muros perimetrales, se considerarán los esfuerzos horizontales asociados a la condición de empujes de tierra en reposo, empleando un diagrama del tipo traapezoidal, definido por la siguiente ecuación .

$$\begin{aligned} \dot{O}h &= 1 + 0.7z & ; & \quad z \leq 2.5 \\ \dot{O}h &= 0.13 + 1.15z & ; & \quad z > 2.5 \end{aligned}$$

donde :

$z$  = Profundidad del muro medida desde el terreno natural, m

i) **ESTADOS LIMITE DE FALLA** - El reglamento de construcciones exige que se verifique, para garantizar la estabilidad de las cimentaciones, que las cargas afectadas por el correspondiente factor de carga, resulten menor que la capacidad de carga del terreno, reducida por un factor de reducción; condición que se cumple en todos los casos

#### 4.2.2 CALCULO DE ASENTAMIENTO Y EXPANSIONES

a) La determinación de las expansiones asociadas a la excavación para alojar el cajón de cimentación, y de asentamiento al recargar el suelo, se realizó utilizando la siguiente expresión

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{exp} &= S m \sqrt{\dot{D}\dot{O}H} \\ \dot{\epsilon}_{asen} &= S m \sqrt{\dot{D}\dot{O}H} \end{aligned}$$

donde

$m \sqrt{\dot{D}\dot{O}H}$  = Modulo de expansion volumétrica,  $cm^2/kg$

$m \sqrt{\dot{D}\dot{O}H}$  = Modulo de compresibilidad volumétrica,  $cm^2/kg$

$\dot{D}\dot{O}$  = Decremento o incremento de esfuerzos,  $kg/cm^2$

$H$  = Espesor del estrato, cm

Los valores de expansion y asentamientos que se calcularon, se listan para cada estructura en la tabla 4 4

b) El giro y desplazamiento vertical en la orilla de los cajones de cimentaciones, que se generan por la acción del momento de volteo sísmico, se evaluaron de la forma siguiente

Los valores determinados aparecen en la tabla 4 5

$$F = \frac{3 \cdot Mv}{B^2 L E}$$

donde :

Mv = Momento de volteo , ton-m

B = Semiancho de la cimentación, m

L = Longitud de la cimentación, m

E = Módulo de rigidez media del suelo de cimentación, ton/m<sup>2</sup>

c) Estados limites de servicio. El buen funcionamiento de la cimentación y por ende de la estructura en conjunto, está limitado por deformaciones verticales que se presentarán en el suelo durante la construcción y la vida útil de la edificación, por ello los asentamientos tendrán que ser menores que el máximo admisible de 15 cm. Esta condición se cumple satisfactoriamente.

### 4.3 DISEÑO DE INSTALACIONES ELECTRICAS

#### 4.3.1 SUBESTACION ELECTRICA

Para el buen funcionamiento de las instalaciones electricas se requiere de una subestación reductora, ya que la compañía suministradora de energía proporciona la acometida eléctrica en alta tensión, la cual estará conformada por los siguientes elementos.

- 1.- Un desconector de corto circuito - fusible para proteger al transformador.
- 2.- Un transformador reductor con las siguientes características:
  - a) Voltaje de entrada 23,000 v.
  - b) Voltaje de salida 440-254 v.
  - c) Potencia aparente de 225 kva
- 3.- Equipo de medición.
- 4.- Un centro de control de motores (c e m), compuesto por :
  - a) Interruptor principal termomagnético de 3 X 300 amp.
  - b) Un transformador de potencia para dar lecturas del voltaje.
  - c) Un transformador de corriente con calibración de 0 a 300 amp.
  - d) Bombas con arrancador magnetico a tension reducida y a tensión plena.
  - e) Se encuentra dentro del c.e.m. un transformador de 440-220/127 para el control del alumbrado, vease figura 4.14 .

ESTRUCTURA	EXCAVACION		ASENTAMIENTO.				OBSERVACIONES
	Pc, t/m <sup>2</sup>	L, Cm	Pn, v/m <sup>3</sup>	cm		Pn, v/m <sup>3</sup>	
Tanque de aireación	0.5	6.0	0.5	7.0	-0.5	6	Vacio máximo 1 semana
Almacenamiento	3.5	8.0	2.0	12.5	0.9	7.0	Vacio largos periodos
Oficinas	2.8	5.7	2.6	13.0	-	-	-
Caja de distribución	1.4	3.3	1.9	7.9	-	-	-
Caseta de cloración	2.8	5.2	1.3	5.7	-	-	-
Cárcamo de bombeo	3.1	5.0	-1.0	-1.9	-3.1	0.3	Vacio cortos periodos

TABLA 4.4 ASENTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

ESTRUCTURA	MOMENTO DE VOLTEO t-m		B m	L m	E kg/cm <sup>2</sup>	ANGULO DE GIRO		ASENTAMIENTOS ORILLA, cm	
	LLENO	VACIO				LLENO	VACIO	LLENO	VACIO
Tanque de aeración	8088	6602	20	40	360	0.0016	0.0013	1.2	2.6
Oficinas	239	-	3	9	300	0.0093	-	2.8	-
Almacenamiento	1904	1492	8.25	27	360	0.0032	0.0026	2.7	2.1
Caja de distribución	67	-	2	8	300	0.0066	-	1.3	-
Caseta de cloración	65	-	2.5	6	300	0.0055	-	1.4	-

TABLA 4.5 GIRO DE LA CIMENTACION POR EL MOMENTO DE VOLTEO SISMICO

## FUSIBLES EN ALTA TENSION

Las cuchillas son elementos de conexión y desconexión de circuitos. Tienen dos funciones, como elemento de protección y como medio de desconexión. El elemento de protección lo constituyen un dispositivo fusible, que se encuentra dentro del cartucho de conexión y desconexión. Este dispositivo se selecciona de acuerdo con el valor de corriente nominal que va a circular por él. El elemento fusible está hecho fundamentalmente de aleaciones de cobre-estaño, cobre-platino y plata ( en casos especiales ).

La corriente nominal en el primario es :

$$I_p = \frac{KVA}{1.73 * KV} = \frac{225}{1.73 * 23} = 5.65 \text{ amp}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1.5 \text{ entonces : } I = 5.65 * 1.5 = 8.48 \text{ amp}$$

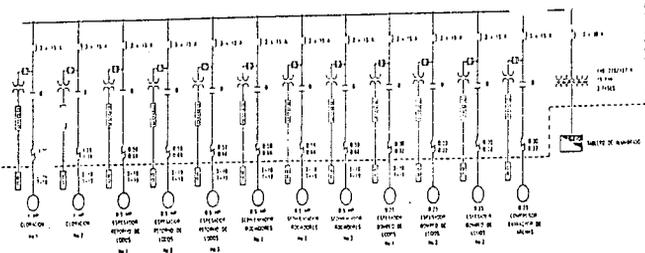
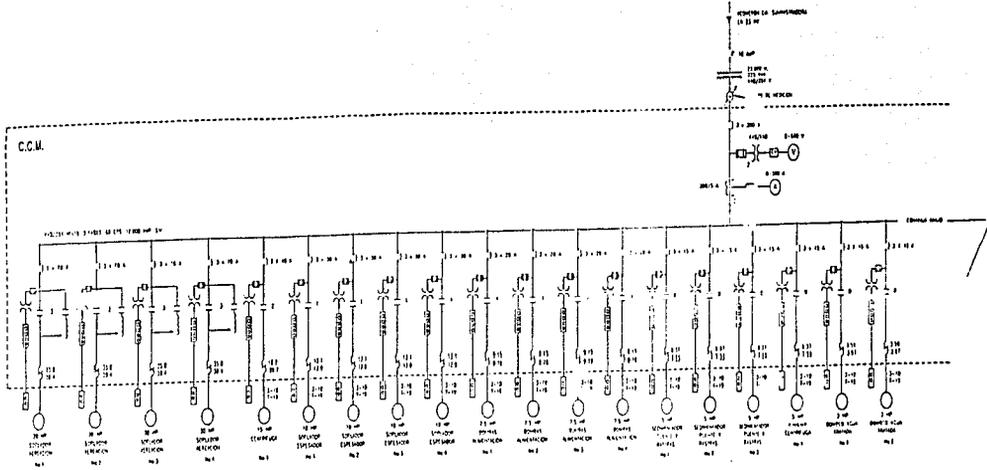
Por lo tanto el fusible a emplear será de 10 amp .

## TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION

Debido a la magnitud de la carga a alimentar, la compañía suministradora de energía eléctrica generalmente proporciona la acometida eléctrica en alta tensión 23 kv, 3 fases, 60 cps, por lo cual se requiere contar con un transformador reductor para obtener el voltaje de utilización 440/254 volts, 3 fases, 60 cps de la siguiente capacidad

Se tiene :

Soplador (aireación) , 3 motores de 30 HP	=	90.00 HP
Centrífuga, 1 motor de 15 HP	=	15.00 HP
Soplador ( espesador ) , 3 motores de 10 H.P.	=	30.00 HP
Bombas alimentación , 3 motores de 7.5 HP	=	22.50 HP
Sedimentación ( puente y rastras ) , 3 motores de 5 HP	=	15.00 HP
Auxiliar centrífuga, 1 motor de 5 HP	=	5.00 HP
Bombeo agua tratada, 2 motores de 3 HP	=	6.00 HP
Cloración , 1 motor de 1 HP	=	1.00 HP
Espesor ( retorno de lodos ) , 3 motores de 0.5 HP	=	1.50 HP
Sedimentador ( rociadores ) , 3 motores de 0.5 HP	=	1.50 HP
Espesor ( bombeo de lodos ) , 3 motores de 0.25 HP	=	0.75 HP
Compresor ( extractor de arenas), 1 motor de 0.25 HP.	=	0.25 HP
total	=	188.50 HP



**SIMBOLOGIA**

- Línea de transmisión
- Línea de distribución
- Línea de baja tensión
- Línea de alta tensión
- Línea de potencia
- Línea de energía
- Línea de fuerza
- Línea de control
- Línea de señal
- Línea de comunicación
- Línea de protección
- Línea de mantenimiento
- Línea de inspección
- Línea de operación
- Línea de reparación
- Línea de sustitución
- Línea de eliminación

INDICACION 1. C.C.M. - S.C.

PLANTA DE DISTRIBUCION DE LOS CASAS  
RESIDUALES CONSTRUIDAS EN EL PUEBLO  
DE SANTA CAMARAS  
**DIAGRAMA UNIFILAR**  
DIRECCION DE SERVICIOS

**D I A G R A M A   U N I F I L A R**

FIGURA 4.14 DIAGRAMA UNIFILAR

$$kva = \frac{0.746 * HP}{Ef * tp} = \frac{0.746 * 188.5}{0.9 * 0.85} = 183.81 \text{ kva}$$

Se tiene también un transformador de alumbrado de 15 kva, 440/220- 127 volts, por tanto :

$$183.81 + 15 = 198.81 \text{ kva}$$

Se selecciona un transformador de distribución de 225 kva, enfriamiento OA, conexión- delta estrella, relación 23.000 - 440/254 volts, 3 fases, 60 cps.

### COMBINACION INTERRUPTOR ARRANCADOR PARA MOTOR DE 30 AMP

Para regular el paso de la corriente en forma general y para casos particulares, se dispone de interruptores termomagnéticos, que evitan el paso de corriente mayores a las previstas. Los interruptores termomagnéticos aprovechan el efecto por el calentamiento para impedir el paso de corrientes peligrosas al circuito al cual protegen, condición que los hace operar mecánicamente el automático para botar la palanca de su posición de normalmente cerrado a una posición intermedia indicando ésta última fallas eléctricas en el circuito. Deben seleccionarse de un valor un poco superior al que resulte del cálculo exacto, impidiendo con ello que abran el circuito en forma continua y sin causa justificada. por ejemplo, se debe prever que al arrancar un motor eléctrico, se toma de la línea mayor corriente que la indicada en sus datos de placa

$$I_{nom} = \frac{746 * HP}{1.73 * V * Ef * Fp} = \frac{746 * 30}{1.73 * 440 * 0.9 * 0.85} = 38.43 \text{ amp}$$

$$\text{Factor por temperatura y holgura} = 1.5 \text{ entonces } I_i = 38.43 * 1.5 = 57.65 \text{ amp}$$

Por lo tanto las características del interruptor serán:

Tipo	Termomagnético
Capacidad	70 amp
No. de polos	3
Marco	100 amp
Capacidad interruptiva	18.000 amp. simp
Voltaje	600 volts

Y las características del arrancador serán:

Tamaño nema	3
Tensión	Reducida tipo autotransformador
Voltaje	440 volts
Frecuencia	60 cps

Los interruptores y arrancadores para los demás motores se calculan de igual manera, cuyos resultados se presentan en la tabla 4.6.

ARRANCADOR / INTERRUPTOR	MOTOR DE (H.P)							
	15	10	7.5	5	3	1	0.5	0.25
<b>INTERRUPTOR:</b>								
Tipo	term	term	term	term	term	term	term	term
Capacidad nominal	40 amp	30 amp	20 amp	15 amp				
No. de polos	3	3	3	3	3	3	3	3
Marco	100 amp	100 amp	100 amp	100 amp	100 amp	100 amp	100 amp	100 amp
Capacidad interruptiva	18 amp	18 amp	18 amp	18 amp	18 amp	18 amp	18 amp	18 amp
Voltaje	600 v	600 v	600 v	600 v	600 v	600 v	600 v	600 v
<b>ARRANCADOR</b>								
Tamaño nema	2	1	1	0	0	0	0	0
Tensión	plena	plena	plena	plena	plena	plena	plena	plena
Voltaje	440 v	440 v	440 v	440 v	440 v	440 v	440 v	440 v
Frecuencia	60 cps	60 cps	60 cps	60 cps	60 cps	60 cps	60 cps	60 cps

TABLA 4.6 INTERRUPTORES Y ARRANCADORES PARA MOTORES

#### CALCULO DE CONDUCTORES ELECTRICOS

Para el cálculo exacto del calibre de los conductores eléctricos, deben tomarse en consideración principalmente la corriente por transportar y la caída de tensión máxima permisible según el caso.

### CABLE ALIMENTADOR

Del : Transformador 225 kva  
Al : Interruptor principal

Tomando el total de la capacidad del transformador de 225 kva

$$I_s = \frac{225}{1.73 * 0.44} = 295.59 \text{ amp}$$

Factor de seguridad = 1.25  
Factor de agrupamiento = 1.00  
Factor de temperatura = 1.00

$$I_c = 295.59 \text{ amp} * 1.25 * 1.00 * 1.00 = 369.48 \text{ amp}$$

De acuerdo a la tabla 4.7 de las normas técnicas para instalaciones eléctricas se selecciona un conductor por fase cal. 500 mcm.

Verificando este calibre por caída de tensión

$$P = \frac{2 * I_c * I_c * L}{V_n * A} = \frac{2 * 55 * 295.59}{254 * 253} = 0.51 \%$$

Por lo tanto el conductor será:

Calibre	500 mcm
Tipo	thw - 75°C
Voltaje	600 volts
No. por fase	1
Corriente máxima	380 amp
Conducción	tubo conduit de 76 mm ( 3")

### CABLE ALIMENTADOR

Del : Arrancador  
Al : Motor de 30 HP

Inom = 38.43 amp  
Factor de seguridad = 1.25  
Factor de agrupamiento = 1.00  
Factor de temperatura = 1.00  
Ic = 38.43 \* 1.25 \* 1.00 \* 1.00 = 48.04 amp

De acuerdo a la tabla 4.7 de las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas edición 1981 se selecciona un conductor por fase calibre 6 awg.

Verificando este calibre por caída de tensión

$$\text{Porcentaje} = \frac{2 * I * l}{V_n * A} = \frac{2 * 100 * 38.43}{254 * 13} = 2.28 \%$$

$$\text{Porcentaje total} = 0.51 + 2.28 = 2.79 \%$$

Por lo tanto el conductor será:

Calibre	6 awg
Tipo	thw - 75° c
Voltaje	600 volts
No. por fase	1
Corriente máxima	65 amp
Conducción	tubo conduit de 25 mm (1")

#### INTERRUPTOR PRINCIPAL TERMOMAGNETICO

Es un dispositivo que tiene por función interrumpir en un momento dado, ya sea manual ó automáticamente la totalidad del servicio y así mismo restablecerlo, la interrupción puede ser automática, por sobrecarga ó corto circuito. Sus características se determinan por su tensión de operación, corriente nominal y corriente de corto circuito.

Debe tener una capacidad ó ajuste que no exceda de la capacidad ó ajuste del dispositivo de protección contra corto circuito ó fallas a tierra del circuito derivado correspondiente al motor de mayor potencia, más la suma de las corrientes a plena carga de los motores de los demás circuitos derivados (NTIE 403.44)

$$I_i = 70 + (38.43 * 2) + (19.21) + (12.81 * 3) + (9.61 * 3) + (6.41 * 4) + (3.63 * 2) + (1.28) + (0.64 * 6) + (0.32 * 4) = 272.63 \text{ amp}$$

Por lo tanto el interruptor será:

Tipo	Termomagnético
Capacidad nominal	300 amp
No. de polos	3
Marco	400 amp
Capacidad interruptiva	30.000 amp sim
Voltaje	600 volts

TEMPERATURA MAXIMA DEL AISLAMIENTO	60° C		75° C		85° C		90° C	
T I P O	THWN, RUM, T, TW, TWD, MTW,		RH, RHW, RUH, THW, DF, XHUW,		PILC, V MI		TA, TBS, SA, AVB, SIS, FEP, THW, RHH, THHN, MTW, EP, XHHW*	
CALIBRE AWG/MCM	EN TUBERIA O CABLE	AL AIRE	L: TUBERIA O CABLE	AL AIRE	EN TUBERIA O CABLE	AL AIRE	EN TUBERIA O CABLE	AL AIRE
14	15	20	15	20	25	30	25	30
12	20	25	20	25	30	40	30	40
10	30	40	30	40	40	55	40	55
8	40	55	45	65	50	70	50	70
6	55	80	65	95	70	100	70	100
4	70	105	85	125	90	135	90	135
3	80	120	100	145	105	155	105	155
2	95	140	115	170	120	180	120	180
1	110	165	130	195	140	210	140	210
0	125	195	150	230	155	245	155	245
2/0	145	225	175	265	185	285	185	285
3/0	165	260	200	310	210	330	210	330
4/0	195	300	230	360	235	385	235	385
250	215	340	255	405	270	425	270	425
300	240	375	285	445	300	480	300	480
350	260	420	310	505	325	530	325	530
400	280	455	335	545	360	575	360	575
500	320	515	380	620	405	660	405	660
600	355	575	420	690	455	740	455	740
700	385	630	460	755	490	815	490	815

TABLA 4.7 VALOR DE CAPACIDAD DE CORRIENTE (AMPERES) PARA CONDUCTORES

### 4.3.2 SISTEMA DE TIERRAS

El sistema consistirá fundamentalmente en una red formada por conductores de cobre desnudo enterrado a 60 cm abajo del nivel del terreno complementado con electrodos de tierra Coperweld de 3 m de longitud y 5/8" de diámetro.

Se conectarán a la red de tierra todos los equipos eléctricos, estructuras metálicas, gabinetes, escaleras, tuberías y en general todas aquellas masas metálicas no portadoras de corriente que pudieran en un momento dado quedar energizadas.

Para el cálculo de la red se empleará el método que utiliza la Compañía de Luz y Fuerza del centro en subestaciones.

#### CALIBRE DEL CONDUCTOR DE LA RED

El calibre de la red principal se determina por la magnitud de la corriente y el tiempo de flujo contemplando la elevación de temperatura máxima permisible, la cual será de 450° c ya que se considerarán conexiones soldables tipo Cadweld.

$$A = 8.7 * I_{ccr} (s)^{1/2}$$

El tiempo del flujo de la corriente de falla se considerará de 0.1 seg debido a que será un interruptor quien lo abra

La corriente de corto circuito máxima que puede circular por la red será:

$$I_{ccr} = I_{sim} * F_d * F_c$$

En la que consideramos:

$$\begin{aligned} F_d &= \text{Factor de decremento} = 1.65 \\ F_c &= \text{Factor de crecimiento del sistema} = 1.0 \end{aligned}$$

La corriente que se debe considerar en este cálculo es la corriente mayor que pueda llegar a circular por la malla. Como la corriente de corto circuito correspondiente al lado de alta tensión fluye por la malla y tierra, se ve ésta afectada por la resistencia de la malla a tierra y resulta por tanto inferior a la corriente de corto circuito correspondiente al lado de baja tensión que fluye exclusivamente por la malla.

La corriente obtenida en el cálculo del corto circuito es la de falla trifásica que puede tomarse como la de falla a tierra

$$\begin{aligned}
 I_{sim} &= 5749.43 \text{ amp} \\
 I_{ccr} &= 5749.43 * 1.65 = 9607.23 \text{ amp sim} \\
 A &= 8.7 * 9607.23 * (0.1)^{1/2} = 26.431 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Que corresponde a un calibre de 4 awg que tiene una sección de 41.740 cm, de acuerdo a la tabla 4.8.

Calibre A. W. G.*	Seccion		Diametro	
	C. M.**	mm <sup>2</sup>	pulgadas	mm
20	1022	0.5176	0.03196	0.812
18	1624	0.6232	0.04030	1.024
16	2583	1.3060	0.05082	1.291
14	4107	2.0810	0.06408	1.628
12	6530	3.3090	0.08081	2.053
10	10380	5.2610	0.1019	2.588
8	16510	8.3670	0.1285	3.264
6	26250	13.3030	0.1620	4.115
4	41740	21.1480	0.2043	5.189
2	66370	26.6700	0.2576	6.543
1	83690	42.4060	0.2893	7.348
0	105500	53.4770	0.3249	8.252
00	133100	67.4190	0.3648	9.266
000	167800	85.0320	0.0320	10.403
0000	211600	107.2250	0.4600	11.684
M.C.M.				
250		126.644	0.575	14.605
300		151.999	0.630	16.002
350		177.354	0.681	17.297
400		204.709	0.728	18.491
500		253.354	0.814	20.675
600		303.999	0.893	22.682
700		354.708	0.964	24.685
750		376.837	0.998	25.349
800		405.160	1.031	26.187
900		455.805	1.093	27.762
1000		506.450	1.152	29.260

\*A. W. G. = AMERICAN WIRE GAGE ( CALIBRE DE ALAMBRE AMERICANO)

\*\* C. M. = CIRCULAR MIL

TABLA 4.8 SECCION Y DIAMETRO DE CONDUCTORES DESNUDOS

Sin embargo, por razones de resistencia mecánica emplearemos conductores calibre 4/0 para la malla principal y 1/0 para las derivaciones

### DETERMINACION DEL NUMERO DE VARILLAS

Las varillas deben instalarse donde los potenciales son mayores como en las esquinas de la red, para completar la longitud mínima de la malla y para reducir la resistividad del terreno en puntos claves.

El número de varillas se determinarán en función del área para asegurar una resistencia del grupo de ellas de 5 ohms.

La resistividad del terreno se considerará de 100 ohms, y la resistividad de la losa al contacto con los pies de 8,000 ohms m

La resistencia de una varilla se calcula mediante la expresión siguiente, con base en la resistividad del terreno y las características del electrodo.

$$R = \frac{R_o}{2 * 3.14 * L} * (\log \frac{4 * L}{a} - 1)$$

En donde

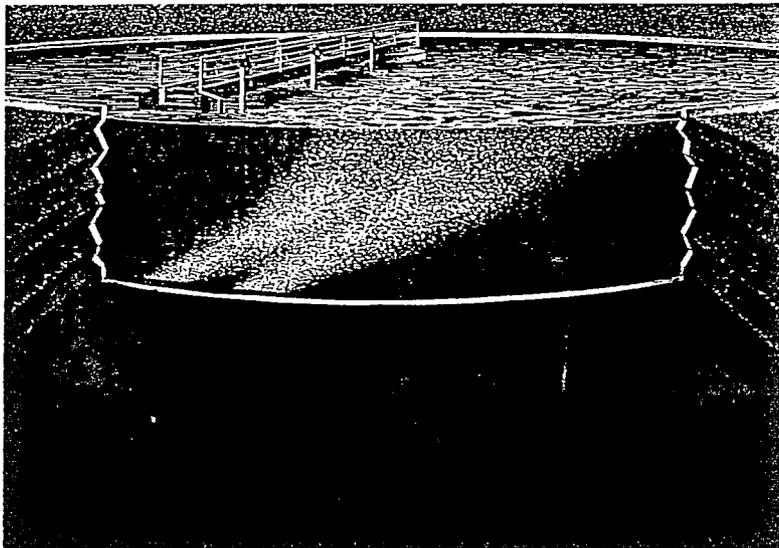
- R<sub>o</sub> = Resistividad del terreno en ohms/ cms
- L = Longitud del electrodo en cm
- a = Radio del electrodo en cm

$$R = \frac{10000}{2 * 3.14 * 305} * (\log \frac{4 * 305}{0.8} - 1) = 33$$

La relación de resistencia de una varilla al descado grupo de varillas será:

$$\frac{R_v}{R_m} = \frac{33}{5} = 6.6$$

El número de varillas requeridas será de 6



## AIREACION EXTENDIDA A CONTRACORRIENTE

Wastewater treatment plant with aeration tanks.

## **CAPITULO 5**

### **PROCESO CONSTRUCTIVO**

## 5. PROCESO CONSTRUCTIVO

Podemos presentar la construcción de la obra como uno o más procesos de transformación, con una entrada: los recursos para producir la obra terminada.



Siendo el contratista el único responsable de la correcta ejecución de las obras él elegirá los procedimientos constructivos, los que someterá a consideración de la DGCOH. Para su aceptación en sus lineamientos generales.

El residente encargado de llevar a cabo la obra debe desempeñar las funciones pertinentes y encaminadas a la óptima ejecución del proyecto cuidando y vigilando la operación del proceso constructivo.

Una vez que se han completado los planos de diseño y que se han preparado las especificaciones que son el lenguaje con el que se relaciona el campo del diseño y el campo de la construcción, siendo éste último el que se encarga de la realización física, sugerimos a continuación el proceso constructivo de la planta de tratamiento. (véase figura 5.1).

El proyecto está formado por las siguientes estructuras:

- \* DESARENADOR
- \* CAJA DERIVADORA
- \* 3 MODULOS DE AIREACION A CONTRACORRIENTE  
(Cada uno con Tanque aireador y Sedimentador secundario )
- \* TANQUE DE CLORACION
- \* TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- \* OFICINAS Y TALLER

Dentro de este proceso destacaran por su importancia los trabajos de excavación por el método conocido como Flotación y los trabajos de cimentación en base a Cajones, dadas las características y propiedades mecánicas del suelo de la zona, tomando en cuenta las experiencias obtenidas durante la ejecución y operación de obras semejantes a la Planta de Santa Catarina, con énfasis en los asentamientos diferenciales que se han registrado y como se han controlado.

Todas las obras a las que nos referimos en este capítulo se ejecutarán tomando en cuenta las especificaciones generales y las especificaciones especiales que pueda tener el proyecto, las mismas que prevalecerán sobre las especificaciones generales en caso de haber discrepancia.

## **5.1 SUBESTRUCTURA**

Los conceptos que se consideran dentro del proceso constructivo de la subestructura se enuncian y se comentan a continuación.

### **5.1.1 TRAZO Y NIVELACION**

Las estructuras que constituyen al proceso constructivo son como se vió en el segundo capítulo, un desarenador, un careamo de bombeo, una caja de distribución, tres canales de alimentación, cuatro tanques de aireación, un tanque de clorado y uno de almacenamiento. Los cuales se desplantarán sobre una topografía sensiblemente plana.

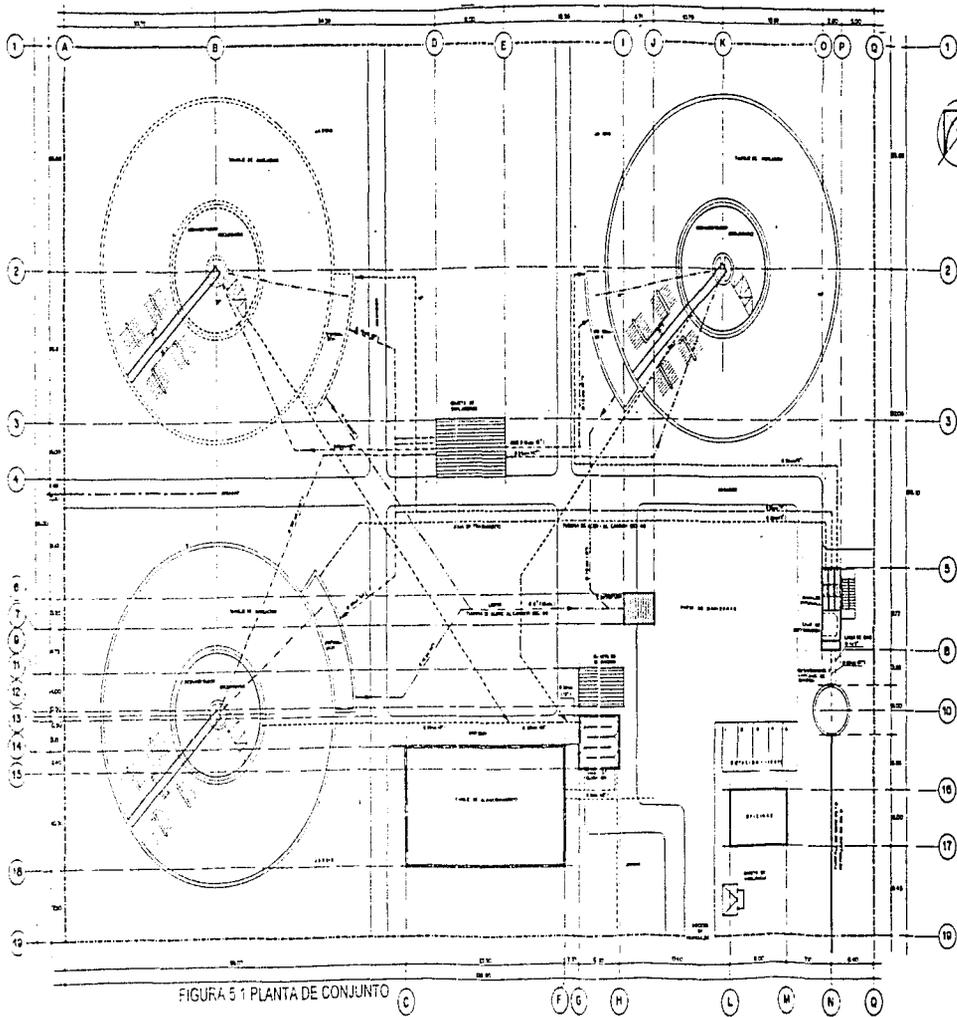
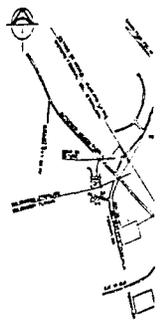
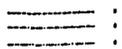


FIGURA 5 1 PLANTA DE CONJUNTO



CROQUIS DE LOCALIZACION

SIMBOLOGIA



Los trazos y nivelaciones, en razón a la exactitud requerida, podrán ejecutarse mediante el empleo de hilos, estacas, plomada, brújula, cinta metálica, estadal, baliza, niveletas, nivel de manguera, nivel montado, dinómetro, tránsito y demás equipos y herramientas que sean necesarias para obtener la precisión indicada en el proyecto según el caso, y la correcta ejecución de los trabajos.

Para señalar los puntos de los ejes o vértices de ángulos sobre el terreno, se usarán estacas de madera, acero o mojoneras de concreto, clavando o ahogando sobre la cabeza de las mismas una tachuela o clavo que marque el centro del eje o el vertice del angulo.

Los bancos del nivel necesarios deberán ser marcados en el terreno sobre mojones de concreto con varilla o saliente que defina el punto de cuota, referido a aquellos bancos de nivel que señale el residente

Cuando las estructuras estén constituidas por más de un nivel o piso, en cada uno de ellos se efectuarán los trazos y niveles necesarios, siempre referidos a los ejecutados sobre el terreno.

### **5.1.2 LIMPIEZA**

Una vez terminado el trazo y la nivelación o simultaneamente a este, se procede a limpiar las areas donde se realizará la obra. El contratista deberá mantener ordenada la zona de influencia de construcción de la obra y efectuar una limpieza general cuando menos cada fin de semana y retirar todo el material que no se vaya a ocupar posteriormente.

### **5.1.3 ACARREOS**

Los acarreos se efectuarán de acuerdo a lo indicado en el proyecto, siguiendo la ruta más corta señalada en el mismo por el residente y a las velocidades reglamentarias máximas permitidas

El proyecto y/o el residente indicará si los sobreacarreos deberán ejecutarse con elementos manuales o con maquinaria. En este último caso el equipo será el adecuado y necesario, previamente aprobado por el residente.

Los vehículos deberán estar provistos de caja o red apropiadas para transportar el material correspondiente sin ocasionar fugas. En caso de que esta se presente ya sea por deficiencias de vehículo o por carga defectuosa, el contratista deberá reponer el material perdido y ejecutar la limpieza de la ruta recorrida, conforme a indicaciones del residente.

En zona urbana se utilizarán lonas para recubrir el material y así evitar pérdidas del mismo y molestias.

#### **5.1.4 EXCAVACIONES**

Una vez hechos los trabajos anteriores, se procederá a realizar las excavaciones, las cuales se podrán ejecutar indistintamente, ya sea a mano, mediante el empleo de equipos mecánicos o utilizando ambos, de acuerdo a la clase de material y grado de dificultad del material por excavar.

Para la ejecución de las excavaciones en general, se deberán tomar en cuenta los estudios de mecánica de suelos y las condiciones de la zona en cuanto a instalaciones existentes, con el objeto de no causar daños a estas.

La DGCOH solicitará a las dependencias correspondientes los planos de localización de las instalaciones existentes y de proyecto, coordinando la supervisión necesaria con el fin de evitar interferencias durante el proceso de obra.

Las excavaciones para edificaciones deberán efectuarse de acuerdo con los datos de proyecto, niveles, holguras y tolerancias, afinándose en tal forma que ninguna saliente del terreno penetre en las secciones de construcción de las estructuras que formarán la edificación.

Si el material del fondo de las excavaciones es susceptible de afectarse por intempestivo y si la cimentación o estructura no se ejecuta de inmediato, las excavaciones deberán suspenderse a la cota que indique el residente, arriba del nivel de desplante; o bien, si procede se hará la plantilla al llegar la excavación a su nivel de proyecto.

El material producto de las excavaciones podrá ser utilizado en rellenos de las mismas o en otros conceptos de trabajo, en cualquier lugar de la obra dentro de los límites del acarreo libre. Los materiales sobrantes podrán emplearse o desecharse, depositándolos en el lugar y forma fijados en el proyecto.

Las excavaciones se harán con las dimensiones de proyecto para alojar o construir las estructuras; con una tolerancia máxima en exceso de cincuenta (50) cm, al pie de los taludes que permita la colocación de las cimbras para concreto, cuando esto sea necesario. La pendiente que deberán tener los taludes de las excavaciones será la naturaleza o estabilidad del material excavado, considerándose la sección resultante como sección de proyecto.

Para la ejecución de excavaciones, el contratista debe elegir el procedimiento de construcción más apropiado y tomar las precauciones necesarias para evitar las fallas de fondo originadas por el peso del suelo subyacente y las sobrecargas de las edificaciones vecinas. Recomendándose para el caso, la utilización de lodo bentonítico como medio de contención del fondo y paredes de la excavación además de un sistema de bombeo para reducir expansiones, estabilizar fondo y taludes, y trabajar en seco.

### **5.1.5 PLANTILLAS**

Para el desplante de las cimentaciones y estructuras es necesario construir plantillas. En caso de encontrarse grietas u oquedades en el fondo de la excavación, se rellenará con concreto, mortero o lechada de cemento, antes de construirse la plantilla, en forma que lo establezca el proyecto.

Las plantillas que se construyan con materiales graduados deberán cumplir con el tipo de materiales, espesores o grado de compactación que el proyecto señale y/o con lo que indique el residente debiendo conservar sus características hasta recibir la cimentación o el elemento que en ella se apoyará.

Las plantillas de concreto se fabricarán con la resistencia  $f'c$  que señale el proyecto y/o indique la DGCOH, pero ésta nunca será menor de  $100 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días. Previa a la colocación de la plantilla, el terreno de desplante será preparado y limpiado eliminando residuos de excavaciones o materiales alterados, así como basuras, escombros y material contaminado de grasa, aceite, vegetación, etc., hasta dejar el fondo de las excavaciones en las condiciones de acabado, protección y conservación que se señalan en el proyecto.

Las plantillas bajo el nivel de aguas freáticas, se deberán construir como mínimo de 6 cm de espesor, empleando una mezcla de concreto hidráulico de  $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$  como mínimo, con un tamaño máximo de agregado de cuarenta milímetros (40 mm). Se contará además con un dren inferior de las características que indique el proyecto.

La colocación de las plantillas deberá hacerse en el menor tiempo posible después de haberse realizado la excavación al nivel del desplante indicado, en especial cuando se trate de terrenos comprensibles, con alto contenido de agua o inestables en su volumen (expansivos).

Las plantillas de concreto, se deberán nivelar con regla y se compactarán con pisón o con la misma regla. La compactación debe ser efectuada en el momento de alcanzar el concreto su consistencia plástica y sin llegar con esta operación al momento del fraguado.

Enseguida se destacan los conceptos generales para construir la cimentación de las estructuras que conformarán la planta de tratamiento.

## 5.1.6 CAJONES DE CIMENTACION

Por existir el riesgo de que los tanques circulares se desnivelaran durante la puesta en operación de la planta, lo que afectaría el proceso de tratamiento, se recomienda el uso de los cajones de cimentación, a base de doble losa y retícula de traveses que formarán compartimientos o celdas en los que se puede aplicar una sobrecarga con agua para una posterior nivelación.

**Desplante.** En el área destinada a las estructuras que se cimentarán con losa, se despalmarán los 0.5 m superficiales, correspondientes a los suelos arcillosos con materia orgánica.

**Rellenos.** Los rellenos para recuperar niveles arquitectónicos o hidráulicos, deberán minimizarse al máximo, las recomendaciones para construir los rellenos en general, incluso aquellos para realizar el confinamiento de los cajones, se llevará a cabo con material proveniente de banco, y será del tipo limoarenoso (tepetate), que se tendrá que compactar por capas de 20 cm de espesor, hasta conseguir el 95% Próctor estándar.

**Orden de Construcción.** De acuerdo con los análisis para determinar los incrementos de esfuerzos, se constató que los efectos de superposición para las estructuras principales son prácticamente despreciables, a condición de que el 3º tanque de aireación se construya a futuro (lapso mínimo de 3 años). Por lo tanto, se podrán realizar las excavaciones de forma simultánea, teniendo únicamente como restricciones las relativas al tránsito de equipo y almacenaje de materiales; así podría iniciarse con los 2 tanques de aireación, para en una segunda etapa, proceder con el resto de las estructuras.

**Protección de los taludes.** En caso de que se presenten pequeñas zonas de inestabilidad, se recomienda utilizar un repellido de cemento arena en proporción 1:3, reforzado con tela de gallinero, que se sujetará contra el terreno utilizando anclas formadas por trozos de varilla del No.3, de 30 cm de longitud, distribuidas en una retícula de 1.0 x 1.0 m.

**Sistema de bombeo.** En el caso de los tanques de aireación, la excavación tendrá que realizarse utilizando un sistema de bombeo de gravedad con puntas eyectoras, instalado en pozos de bombeo perforados a 10.0 m de profundidad con relación al terreno natural. Para iniciar la excavación, el nivel dinámico en los pozos tendrá que encontrarse a una profundidad mínima de 5.0 m. Los pozos se distribuirán en una retícula de 8.0x 8.0 m. Los pozos se perforarán con maquinaria rotatoria, equipada con una broca dealetas o de corona, inyectando agua como fluido de perforación, con un diámetro de 25 cm. Una vez alcanzada la profundidad de 10.0 m, se lavará el pozo hasta que el agua de retorno salga libre de lodo y/o arena.

En la perforación se colocará el ademe ranurado, formado por un tubo de PVC de 7.5 ó 10 cm de diámetro interior, con ranuras de 1mm, espaciadas 10 mm entre sí, el tubo podrá ranurarse en los 8.0 m inferiores. El espacio anular entre el ademe y la pared del pozo, se rellena con gravilla de tamaños variables entre 5 y 10 mm. Dentro del ademe se instalarán bombas eyectoras a una profundidad no menor de 8.0 m. Las bombas eyectoras deberán tener un tubo de inyección de 13 mm de diámetro y salida de 19 mm.

**Funcionamiento del sistema de bombeo.** Durante los trabajos de excavación el funcionamiento deberá ser continuo. Al iniciar la construcción de la cimentación y posteriormente del resto de la estructura, se deberá soltar el bombeo recuperando un metro por cada tonelada por metro cuadrado que se vaya colando. Para minimizar problemas de asentamientos diferenciales durante la construcción, el avance de las estructuras tendrá que llevarse lo más uniforme posible.

Por la necesidad de construir en esta zona y como anteriormente se mencionó, la gran experiencia en cimentaciones para tanques de almacenamiento no se recomienda construir una cimentación superficial dado que los volúmenes de agua en cada fase son diferentes, lo que produce asentamientos de magnitud variable. Tampoco se recomienda el empleo de pilotes, tanto de adherencia como de punta, pues a pesar de que disminuyen los movimientos diferenciales y evita la flotación, impide la nivelación de estructuras y resulta generalmente más costoso.

De aquí que los cajones de cimentación son la alternativa recomendada para suelos compresibles y un nivel freático somero, pudiendo mejorarse mediante la colocación de un drenaje bajo las estructuras para anular la subpresión cuando se requiera, reduciéndose así el riesgo de flotación.

### **5.1.7 LUMBRERA FLOTADA**

Debido a los grandes espesores de arcilla blanda, para erigir el cárcamo de bombeo, y para evitar problemas asociados a falla de fondo o falla por subpresión, se utilizará para su construcción la técnica de lumbrera flotada. La secuencia de actividades es la siguiente:

El principal problema con solución para el empleo de este método, es evitar la falla de fondo, lo cual se logra con el empleo de lodo bentonítico como medio de contención del fondo y de paredes de la excavación.

Durante la construcción propiamente de la lumbrera, el supuesto problema sería su inmersión en el lodo bentonítico, lo cual se logra aplicando los principios de flotación de Arquímedes, condición que se aprovecha para construir sobre un tanque de flotación la losa de fondo, así como para desplantar los muros de la lumbrera e ir colocándolos paulatinamente conforme va sumergiéndose en el lodo, cabe señalar que se debe balancear adecuadamente el peso del concreto, en cada colado con la capacidad de flotación de la estructura, incluyéndose la propia lumbrera.

Este proceso de inmersión implica analizar el estado de equilibrio que guarda el cuerpo en todo momento para evitar que tienda al volteamiento y con ello se presente un desplome en la verticalidad de la lumbrera, ya que por su geometría cilíndrica invertida permanece en estado de flotación inestable durante los primeros colados y que paulatinamente se convierte a estable conforme avanza su construcción. Llega un momento en el proceso de colados en que la propia lumbrera tiene mayor capacidad de flotación que su propio peso y ya no es posible seguir sumergiéndola, por tal motivo debe ser lastrada incrementando dicho peso, generalmente vertiendo en su interior agua o el mismo lodo bentonítico desalojado.

**Preparación del sitio.** Se requiere la construcción de brocales de concreto armado, para estabilizar la superficie de excavación y para que sirvan de guía a las almejas durante la excavación perimetral; conviene mencionar que la parte exterior podrá ser definitiva, en cambio el interior sólo es temporal. El brocal exterior deberá tener las preparaciones para recibir los seis malacates manuales y seis pasadores de fijación.

**Etapas de excavación.** La excavación perimetral consiste en precortar todo el perímetro, para asegurarse de su verticalidad y regularidad. Como esta labor se realiza con una almeja hidráulica operada con grúa o retroexcavadora, su ancho podrá ser de 40 a 60 cm y hasta la profundidad total de la estructura (10.1 m). La zanja se estabilizará con lodo bentonítico.

**Excavación del núcleo.** Cortado el perímetro, se puede iniciar el núcleo, con la ayuda de una almeja libre, cuidando de hacerlo en incrementos horizontales. A medida que se avanza en la excavación se debe agregar el lodo bentonítico para mantener el nivel 1.0 m por debajo del nivel de terreno natural ( véase figura 5.2 )

**Características del lodo.** Su viscosidad Marsh podrá variar entre 35 y 40 s, alcanzando una densidad entre 1.02 y 1.03 gr/m<sup>3</sup>. La preparación se realizará en una planta mezcladora, que también se encarga de regenerarlos durante todo el proceso, controlando así su calidad y densidad. La dosificación de agua y bentonita para alcanzar esta densidad, consiste en utilizar 100 kg de bentonita por cada metro cúbico de agua.

**Limpieza del fondo.** Una vez concluida la excavación se limpia su fondo con ayuda de un succionador de aire (aire filtrado), que incluso enrasa y nivela el fondo de la excavación.

**Colocación del tanque flotador.** Se instala en el sitio con ayuda de una grúa, enseguida se sostiene con los malacates manuales y se ensaya la inyección de aire a presión. Si hubiesen fugas se corrigen, y se entrena al personal en la operación del sistema. Inyectando aire a presión se levanta el tanque hasta que coincida la posición de los pasadores con la caja de apoyo; así queda el tanque fijo ( véase figura 5.3 )

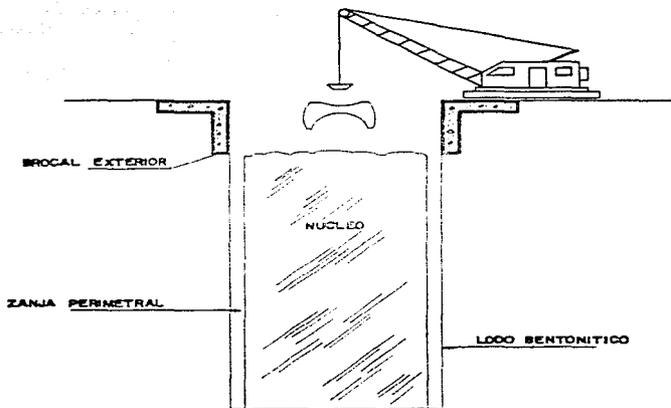


FIGURA 5.2 EXCAVACION DEL NUCLEO CENTRAL

**Construcción de la parte inferior del cárcamo.** La colocación del concreto de la losa de fondo y las paredes, se hace con ayuda de un marco estructural que sostiene a un canal giratorio por el que desliza el concreto. La secuencia del vaciado debe hacerse cuidando la simetría, para asegurarse que los pasadores soporten cargas sensiblemente similares y con ello mantener la horizontalidad del conjunto. Si fuera necesario se podrá inyectar aire para modificar la condición de flotación. ( vease figura 5.4 )

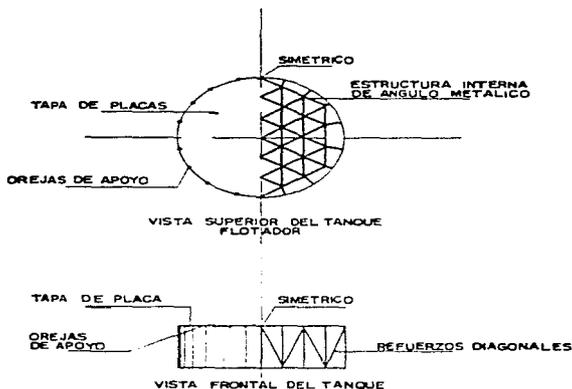


FIGURA 5.3 DETALLE DE CONSTRUCCION DEL TANQUE DE FLOTACION

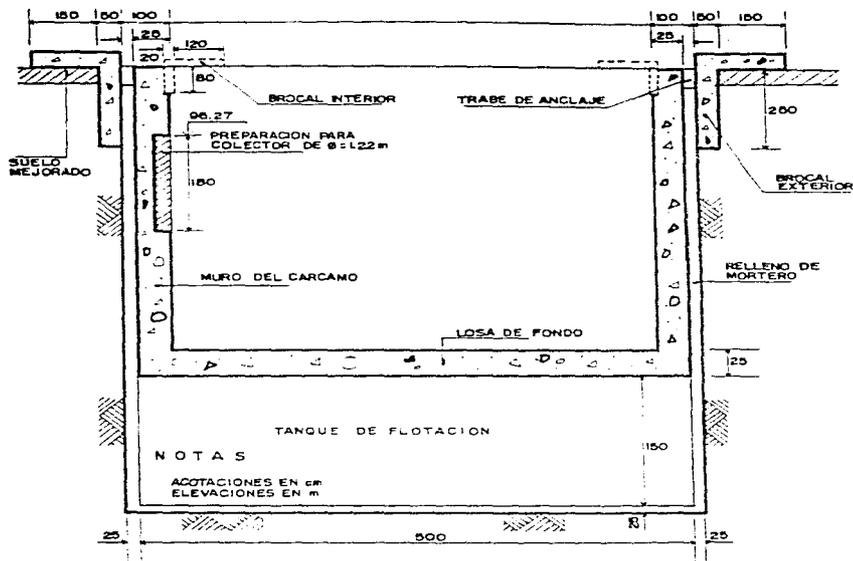


FIGURA 5.4 DETALLE DE CONSTRUCCION DEL CARCAMO DE BOMBEO

**Maniobra de levante y hundimiento.** Con ayuda de los malacates y con un incremento de la presión de aire, se levanta ligeramente la estructura, para retirar los pasadores; enseguida se reduce la presión de aire y lentamente se operan los malacates, para hundirla hasta su nueva posición. Una vez que se hace coincidir la posición de los pasadores, se colocan éstos, para fijar la estructura en la siguiente posición.

**Fabricación del cárcamo.** A partir de esta posición se construyen las paredes de concreto, para lo que conviene recurrir a una cimbra modulada que facilite y efficiencie el avance.

**Continuación de la secuencia.** Se desarrollan los siguientes ciclos de construcción, hasta lograr que la estructura alcance la profundidad de desplante de proyecto; quizás se requerirá de un cierto lastre con agua por el interior del cárcamo.

**Confinamiento lateral.** Se introducirá un lodo fraguante en el espacio anular entre la excavación y la pared exterior del cilindro. Esto se realiza con la ayuda de tubería tremie para hacerlo en forma ascendente y evitar su contaminación con el lodo estabilizador. La dosificación en peso de este lodo será, agua 68%, bentonita 7.0% y cemento 27.2%.

**Inyección del tanque flotador.** Cuando el lodo fraguante haya alcanzado su resistencia de diseño, lo que ocurre 15 días después de haber llevado a cabo la inyección, se efectuará el llenado del tanque flotador con una mezcla de mortero de arena-cemento en proporción de volúmenes 3:1, que se introducirá por una de las tuberías emplendas para el aire y la otra parte como tubería de alivio del aire y agua, (vease figura 5.5 ).

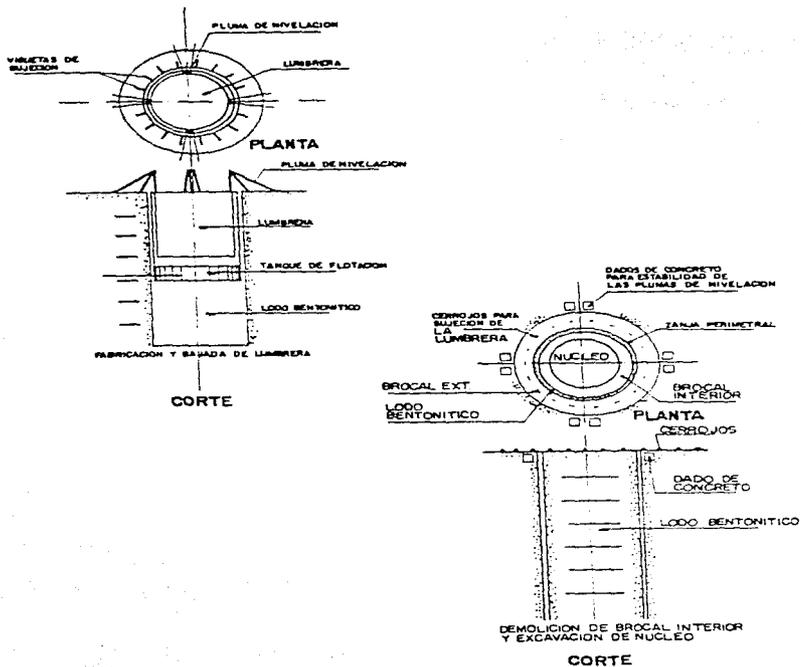


FIGURA 5.5 DETALLE CONSTRUCTIVO EN LA INMERSION DEL TANQUE

## **5.2 SUPERESTRUCTURA**

Los procesos considerados para la superestructura se mencionan y se comentan a continuación:

### **5.2.1 ACERO**

Una vez preparado el sitio para desplantar estructuras se procede a colocar el acero correspondiente.

El acero de refuerzo deberá llegar a la obra sin oxidación no corroído por la oxidación previa, limpio de aceite o grasas, escamas, grietas, golpes o deformaciones de la sección. La DGOH, emitirá por escrito su juicio a este respecto.

Las varillas deberán corresponder al tipo, grado y número indicados en los planos de proyecto autorizados. Todo el acero deberá estar sujeto con amarres de alambre recocido o con el tipo de sujeción que se especifique. Los separadores para dar recubrimiento al acero deberán ser cubos de mortero o concreto y silletas de acero o asbesto. No deberán usarse para este objeto gravas, trozos de madera o pedazos de metal diferentes del acero.

Todas las varillas de refuerzo deberán ser recubiertas con los espesores de concreto indicados en los planos estructurales; siendo el recubrimiento mínimo de 2 cm y el máximo de 7 cm. Pudiéndose aumentar éstos cuando el concreto esta en atmósferas corrosivas.

Una vez habilitado y colocado el acero para las diferentes estructuras, éstas se deberán cimbrar.

### **5.2.2 CIMBRA**

Los moldes de las cimbras se construirán y colocarán de acuerdo con las recomendaciones siguientes:

Podrán ser de madera, metálicos o cualquier material, con o sin tratamiento específico aprobado por el residente.

Antes de cada uso y previa a la colocación del acero para refuerzo, a las superficies de contacto de los moldes con el concreto, se les aplicará una capa de aceite mineral o de cualquier otro material desmoldante aprobado por el residente.

Todas las aristas vivas llevarán un chaflán que consistirá en un triángulo rectángulo con catetos de 2.5 cm.

La remoción de cimbras se hará de acuerdo con las siguientes indicaciones:

Los periodos entre la terminación del colado y la iniciación de la remoción de los moldes y de obra falsa serán como mínimo un día y hasta siete días cuando se use cemento Tipo III y de uno a catorce días para otros tipos.

### **5.2.3 CONCRETO HIDRAULICO**

Después de la colocación de cimbra y acero se procederá a vaciar los concretos para las estructuras convenidas, tomando en cuenta lo siguiente:

El concreto cuyo volumen a colocar en un día o jornada exceda a 15 m<sup>3</sup> deberá ser elaborado en planta (premezclado) y el que sea inferior deberá ser hecho en obra siempre que se cuente con el equipo apropiado

El concreto cuya fe de proyecto sea mayor o igual a 250 kg/cm<sup>2</sup> deberá ser elaborado en planta (premezclado) y el que sea inferior podrá ser hecho en obra siempre que se cuente con el equipo apropiado

Las operaciones de transporte, colocación, compactación, acabado y curado deberán ser ejecutadas con los equipos mecánicos necesarios y adecuados en función del volumen y del elemento estructural por colar

Sólo se podrá dosificar y fabricar manualmente en obra el concreto que se utilice para elementos no estructurales. Para su fabricación solo se dosificarán y mezclarán batchadas cuyo volumen no sobrepase de  $1 \text{ m}^3$ . Para elementos estructurales deberá dosificarse y fabricarse mediante elementos mecánicos.

Las características del concreto corresponderán a las fijadas en el proyecto, pero tratándose de concretos destinados a la construcción de elementos estructurales en edificación deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

Resistencia de proyecto (a los 28 días).  $f'c \Rightarrow 250 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de contracción por secado (a los 28 días).  $Ef = 500 \times 10^{-6}$

Módulo de elasticidad (Concreto Clase I).  $E = 14000 f'c \text{ kg/cm}^2$

En la colocación del concreto se pondrá especial cuidado en evitar la segregación del mismo. Para evitar la segregación, el concreto se depositará tan cerca como sea posible, de su posición final y se evitará que fluya lateralmente a una distancia superior a un metro. No se permitirá que el concreto se deslice o se deposite continuamente en un punto para que fluya por toda la cimbra o formando un ángulo, debido a que en éstos el agregado grueso y el mortero tienden a separarse. Si el concreto está confinado lateralmente ya sea por cimbras o por cualquier otro medio, hay una tendencia del agregado grueso a decantarse y de las partículas más finas y del agua a subir. Para evitar esta segregación en colados profundos, a medida que el nivel se eleva, se utilizarán mezclas más secas.

Para el colado de elementos estructurales de eje vertical como caballetes, pilas, estribos, columnas, muros, etc. deberá considerarse que la revoltura no deba vaciarse a alturas mayores de 1.5 m sin uso de deflectores o trompas de elefante.

Para el colado de elementos estructurales de eje horizontal tales como vigas, losas, etc., deberá considerarse la colocación de frentes continuos hasta la terminación de elementos estructurales o hasta la junta de construcción que fije el proyecto. No se dejará caer la revoltura de alturas mayores de 1.5 metros.

## 5.2.4 MUROS

Ya terminadas las obras de estructura es pertinente mencionar la construcción de los diferentes muros; de carga, divisorios y mixtos.

Todos los muros deberán ser junteados con mortero, los elementos a juntarse, deberán estar libres de polvo u otra sustancia extraña. En el momento de levantarse los muros arriba de 2.0 m se deberán construir los amarres verticales, ya sean estos castillos o intersecciones con otros muros.

Durante la construcción y colado de los castillos deberá verificarse y corregirse en su caso la verticalidad de los muros, asegurando esta mediante puntales que podrán ser removidos hasta que el concreto haya fraguado, en muros de concreto deberá verificarse la verticalidad en la cimbra antes del colado.

Hasta este punto podríamos pensar en un alto porcentaje de obra terminada y en finalizar el proceso constructivo, más no podemos pasar por alto la instalación de los sistemas hidrosanitario, eléctrico e hidráulico, que simultáneamente a la estructura se van colocando. Por último debemos mencionar los procesos de herrera, vialidades y acabados con los cuales el proceso constructivo culmina.

Finalmente no debemos olvidar que a todo proceso constructivo esta ligado un determinado tiempo de ejecución de la obra, del cual se lleva un registro en base a las diferentes estructuras por construir y que por ende conllevan su propia duración, holgura, secuencia lógica, prioridades y normas; todo esto sujeto a el elemento más importante de nuestro tiempo, en cuanto a construcción se refiere, como lo es la economía. Es aquí donde la formación del ingeniero civil destaca por sus propias características analíticas defendiendo por siempre la calidad, el bajo costo y el tiempo óptimo de cada una de sus empresas.

De lo anterior se concluye el siguiente Programa de Obra, tentativo, en el cual se observa el tiempo de ejecución de la Planta de Tratamiento, así como las diferentes partidas que lo integran, ( vease figura 5 6 )

### PROGRAMA DE OBRA

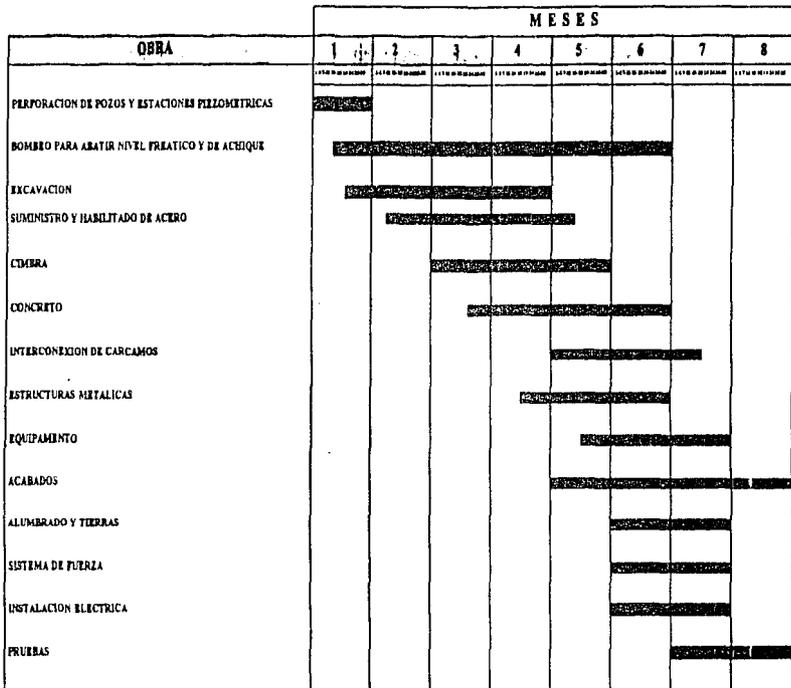


FIGURA 5.6 PROGRAMA DE OBRA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

■ PROGRAMA CONTRACTUAL

## **CAPITULO 6**

# **OPERACION Y MANTENIMIENTO**

## 6. OPERACION Y MANTENIMIENTO

### 6.1 PARAMETROS DE OPERACION

#### CONTROL DEL PROCESO

El proceso de lodos activados se basa en la acción de ciertos microorganismos que degradan la materia orgánica contenida en las aguas residuales. Dichos microorganismos requieren de ciertas condiciones para subsistir, por lo que finalmente las técnicas de control de proceso están encaminadas a cubrir y mantener dichas necesidades en un punto óptimo con lo que se logra que los microorganismos puedan cumplir sus funciones y el proceso funcione adecuadamente.

Dentro de los parámetros más importantes para llevar a cabo una buena operación de la planta de tratamiento se encuentran los siguientes:

**1. Tiempo de retención hidráulico ( $T_{rh}$ ).** Se define como el tiempo en horas que transcurre entre la entrada y la salida del agua, su paso a través del tanque y su salida. Se obtiene dividiendo el volumen del tanque entre el gasto de entrada (influyente).

$$T_{rh} = \frac{\text{volumen} \text{ (m}^3\text{)}}{\text{gasto} \text{ (m}^3\text{/día)}}$$

**2. Carga orgánica.** Definida como la cantidad de materia orgánica aplicada por metro cúbico y por unidad de tiempo. La materia orgánica es expresada indirectamente mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) o bien la Demanda Química de Oxígeno (DQO) las cuales determinan la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica involucrando reacciones bioquímicas en el primer caso y químicas en el segundo, la carga orgánica se obtiene dividiendo la DBO<sub>5</sub> o DQO entre el gasto

$$\text{Carga orgánica} = \frac{DQO_i}{\text{gasto}}$$

**3. Gasto de entrada ( $Q_i$ ).** Se refiere a la cantidad de agua que ingresa al tratamiento (lts/s).

#### **4. Caudal de purga ( $Q_p$ ).**

Cantidad de licor mezclado que se desecha del sistema (lts/s)

**5. Requerimientos de oxígeno.** El suministro de oxígeno se realiza comúnmente aprovechando el contenido en el aire de este gas; las dos formas más usuales para satisfacer estos requerimientos son: difusión de aire comprimido y aireación mecánica. Para el caso de la planta de Santa Catarina se utiliza difusión de aire comprimido. La cantidad de aire requerida depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Carga orgánica aplicada
- Cantidad y calidad de los microorganismos
- Eficiencia del proceso

En cualquier caso se acepta que la cantidad de aire suministrada debe ser tal que permita mantener un valor mínimo de 2 mg/lts de oxígeno disuelto para cualquier valor de la carga orgánica y en cualquier punto del tanque de aireación, excepto en las inmediaciones de la entrada de la alimentación donde, por razón natural, se ejerce una mayor demanda por la recirculación.

**6. Requerimientos de nutrientes.** Las reacciones biológicas que tienen lugar durante la síntesis de nuevas células requiere la presencia de elementos químicos como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno principalmente y en proporciones menores fósforo, azufre, sodio, potasio, magnesio, calcio, hierro y molibdeno. La mayoría de estos elementos se encuentran en las aguas residuales, sin embargo, es común que se encuentren deficiencias en fósforo y nitrógeno y, en consecuencia resulta necesario añadir, en los tratamientos biológicos, las cantidades adecuadas de estos elementos a los que se les denomina nutrientes.

**7. Respiración endógena.** Aparece cuando comienza a faltar la materia orgánica usada como alimento, supone una liberación de nitrógeno y fósforo, usados previamente en las síntesis de nuevas células, de manera que se les puede reutilizar haciendo que las necesidades totales de nutrientes en el proceso estén en función del grado de síntesis y de respiración endógena.

**8. Retorno de lodos.** El retorno o recirculación de lodos activados colectados en las tolvas del tanque de sedimentación secundaria permite aumentar el tiempo en que los microorganismos están en contacto con la materia orgánica contenida en el agua residual y mantener la concentración de estos dentro del tanque de aireación en el nivel especificado. El porcentaje o tasa de recirculación con respecto al caudal de entrada varía según la calidad de los lodos activados que se tengan en el tanque de aireación.

Para ajustar el control sobre la cantidad de microorganismos en el tanque de aireación (SSVLM) se hace el uso de la purga, es decir del retiro de una cierta cantidad de lodos del sistema, la cual es determinada en función del nivel del sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado siendo para el caso de lodos activados de 4,000 mg/lts como nivel inferior y 6,000 mg/lts como nivel superior.

**9. PH.** Indica el grado de acidez o alcalinidad que presenta un agua determinada. Se ha determinado que un agua presenta características ácidas si el valor de pH está entre 1 y 6.9 y un valor de 7.0 indica neutralización, mientras que de 7.1 a 14.0 se acentúa su alcalinidad, este parámetro influye en el tipo de microorganismos que pueden vivir en estas condiciones. Se sabe que la mayoría de los microorganismos que intervienen en la degradación de la materia orgánica se desarrollan a un valor óptimo de pH 7.0 y pueden sobrevivir sin grandes variaciones entre 6.5 y 8.5 de tal manera que cuando el pH del agua desciende o sobrepasa respectivamente estos valores muy pocas bacterias pueden desarrollarse y el tratamiento resulta afectado seriamente.

**10. Temperatura.** Influye directamente en la velocidad de degradación, esto es a mayor temperatura se incrementa dicha velocidad (hasta los 40 °C. aproximadamente); aparentemente la velocidad de degradación se duplica por cada aumento de 10 °C en la temperatura del agua. Asimismo, la influencia de la temperatura se manifiesta con la concentración de oxígeno disuelto ( O D ) que puede existir en el agua de tal manera que la concentración de oxígeno disuelto disminuye a medida que la temperatura aumenta.

**11. Contenido de sales disueltas.** Siempre que éstas sean no tóxicas para las bacterias, son de gran importancia para mantener el sistema en operación. Sin embargo en el caso de lodos activados no puede sobrepasarse una concentración límite de 8 gr/lts ya que en este caso se dificulta la floculación y sedimentación de lodos.

**12. Comportamiento hidráulico.** El comportamiento hidráulico, es decir, el modo en que se realiza el tránsito de agua a través de las diferentes unidades que integran el proceso, ha demostrado ser un factor de gran importancia para su eficiencia. La posible existencia de cortos circuitos y zonas muertas se traduce en disminuciones apreciables de la eficiencia de remoción de materia orgánica observándose estos efectos principalmente en el tanque de aireación.

**13. Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM).** Aunque se han sugerido diversos métodos para medir la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aireación, el más común hasta el presente es la medición de los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado.

**14. Relación alimento-microorganismos (F/M).** Representa la proporción existente entre la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, a la que se considera como sustrato o alimento, y la concentración de microorganismos activos en el licor mezclado; se ha tomado como representativos de la cantidad de materia orgánica a la carga del influente medida en Kg de DBO<sub>5</sub> o DQO por día y a los SSVLM como la medida indirecta de los microorganismos; de esta manera se tiene la expresión siguiente para el cálculo de la relación alimento-microorganismos.

$$F/M = \frac{DBO_5 \cdot Q_i \cdot 86.4}{SSVLM \cdot V_a} = \frac{\text{Kg de DBO}_5}{\text{Kg de SSVLM} \cdot \text{día}}$$

Donde:

- F/M = Relación alimento-microorganismos
- DBO<sub>5</sub> = Valor de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/lts)
- Q<sub>i</sub> = Caudal del influente crudo (lts/s)
- SSVLM = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (mg/lts)
- V<sub>a</sub> = Volumen del tanque de aireación (m<sup>3</sup>)

**15. Tiempo medio de retención celular (TMRC).** Básicamente el TMRC expresa el tiempo promedio en días que un microorganismos puede permanecer en el proceso de lodos activados. La expresión que define a este parámetro es la siguiente:

$$TMRC = \frac{SSVLM \cdot V_a}{(Q_p \cdot SSV_e) + (Q_e \cdot SSV_e)}$$

Donde:

- TMRC = Tiempo promedio de retención celular (días)
- SSVLM = Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (mg/lts)
- V<sub>a</sub> = Volumen del tanque de aireación (m<sup>3</sup>)
- Q<sub>p</sub> = Gasto de la purga de lodos (m<sup>3</sup>/día)
- SSV<sub>i</sub> = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en la recirculación (mg/lts)
- Q<sub>e</sub> = Gasto del efluente (m<sup>3</sup>/día)
- SSV<sub>e</sub> = Sólidos suspendidos volátiles en el efluente (mg/lts)

**16. Índice volumétrico de lodos.** Se define como el volumen en mililitros ocupado por un gramo de SSVLM, sedimentado durante 30 min. Este índice debe determinarse para cada planta y debe tenerse en cuenta un índice volumétrico, donde un aumento señalará una tendencia al abultamiento de lodos. Su expresión matemática es:

$$IVL = \frac{\text{Volumen de los lodos sedimentados (ml)} * 1000}{SSVLM \text{ (mg/lts)}}$$

**17. Purga de lodos.** Permite mantener un balance entre los microorganismos y la cantidad de alimento o sustrato (DBO, o DQO); esta técnica permite eliminar los microorganismos que están en exceso, debido a que al multiplicarse forman nuevos individuos, manteniendo su nivel constante a un valor predeterminado que producirá un efluente de calidad adecuada. La eliminación de los lodos de exceso pueden hacerse en forma continua, o intermitente. Usualmente es preferible la segunda, ya que se tiene mayor control sobre la cantidad de los lodos eliminados.

**18. Control de la tasa de recirculación de lodos.** Con el fin de establecer un inventario de sólidos biológicos requerido en el tanque de aireación y mantener un nivel de manto de lodos adecuados en el clarificador secundario, se debe monitorear y controlar la tasa de recirculación de lodos del clarificador al aireador. La tasa óptima de recirculación depende de una serie de factores, tales como gasto influente, DBO, influente, tasa crecimiento celular, temperatura, sólidos suspendidos del licor mezclado y sólidos suspendidos en los lodos. Sin embargo, el operador tiene poco control o ninguno sobre muchos de estos factores.

## 6.2 FALLAS EN LAS PLANTAS Y SU CONTROL

El primer aspecto que debe plantearse cuando se inician los síntomas de una falla en alguno de los procesos de la planta es identificar la causa del problema. Sólo después de identificar su verdadera causa, se puede formular la mejor solución. Aunque esto pueda parecer obvio, con frecuencia se intentan soluciones tras soluciones, la mayoría con base en el proceso de ensaye y error. Los síntomas deben servir de guía para determinar el origen del problema.

A continuación se presenta una descripción breve de los problemas típicos que pueden presentarse en la plantas de lodos activados, los métodos para identificar sus causas potenciales y las acciones correctivas que pueden tomarse.

### **6.3.1 PROBLEMAS TÍPICOS DE OPERACION**

#### **BAJA REMOCION DE DBO<sub>5</sub> SOLUBLE**

Antes de confirmar un problema de baja remoción de DBO<sub>5</sub> soluble, se deben satisfacer dos condiciones.

- Todos los análisis de DBO<sub>5</sub> que se realicen para verificar tal condición deben emplear muestras filtradas.
- La DBO<sub>5</sub> soluble del efluente debe ser más alta que las concentraciones de operación normal o de diseño.

La baja remoción de DBO<sub>5</sub> soluble puede ser causada por varios factores, que pueden actuar independientemente o en conjunto con otros que limitan el comportamiento de un sistema de lodos activados, considerando que el diseño del sistema es adecuado y que el equipamiento es funcional, los factores incluyen:

- Cargas orgánicas
- Sustancias tóxicas o inhibitorias
- Bajas temperaturas
- pH fuera de rango óptimo
- Tiempo de aireación insuficiente
- Masa biológica insuficiente

#### **a) Cargas orgánicas**

Las cargas orgánicas en el influente a un tanque de aireación puede ser la causa de una baja remoción de DBO<sub>5</sub> soluble en dos casos:

- La carga de DBO<sub>5</sub> continua y la relación resultante F/M excede los límites de diseño del sistema.
- La carga orgánica es variable en concentración y carácter.

La primera condición es relativamente fácil de confirmar a partir de los análisis del agua y las mediciones de gasto. El rango óptimo de la relación F/M de un sistema debe determinarse a partir de la experiencia en la operación de la planta.

**En el caso que la relación F/M exceda el valor de diseño, se debe buscar disminuir la carga orgánica influente o incrementar el inventario biológico del licor mezclado en el tanque de aireación.**

**En el caso que se presenten variaciones severas en las cargas orgánicas (cambios de 25% o mayores), pueden requerirse regularización del influente o pretratamiento industrial.**

#### **b) Sustancias tóxicas o inhibitorias**

Quando se presenta una condición tóxica aguda que se caracteriza por la destrucción masiva de la población biológica del sistema, lo más probable es que se deba a una descarga ilegal al sistema de tratamiento. La acción correctiva consiste en alimentar la masa biológica activa remanente para retornar a las condiciones sanas, estableciendo un medio ambiente óptimo y, de ser necesario, suministrando al sistema una siembra biológica de una fuente externa.

Los efectos de la toxicidad crónica son típicamente causados por sustancias que gradualmente vienen a estar más concentradas dentro de las células biológicas, debido a la recirculación continua de microorganismos al proceso central de tratamiento. Las principales sustancias que producen tal efecto son los metales pesados. La acción correctiva para esta condición es mantener una tasa de purga de lodos más alta que la normal, controlando corrientes laterales de retorno al proceso determinado y eliminando la fuente generadora de la sustancia tóxica, o mediante ambas acciones.

#### **c) Bajas temperaturas**

La actividad de los microorganismos presentes en un sistema de lodos activados desciende durante los meses fríos. Esto puede dar como resultado una reducción en la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>. El operador puede hacer los ajustes del control del proceso para compensar las condiciones de baja temperatura; incrementar el tiempo de retención del sistema e incrementar la concentración de SSVLM, o ambas.

#### **d) pH fuera del rango óptimo**

La mayoría de los sistemas biológicos tienen un buen funcionamiento cuando operan en un rango entre 6.5 y 8.5. Cualquier operación prolongada fuera de este rango puede causar un efecto tóxico en los microorganismos y una baja en la eficiencia

del tratamiento. Por tanto cuando se note que la eficiencia se reduzca, uno de los primeros parámetros a verificar por el operador es el pH del tanque de aireación. Si se está fuera del rango, se deben tomar acciones inmediatas para ajustar el pH mediante la dosificación de un ácido o un alcali.

En el caso que el pH del licor mezclado del tanque de aireación esté fuera de rango en forma prolongada, se debe instalar un sistema permanente para ajustarlo, o implantar una estrategia de control para monitorear y regular la fuente que genera el alto o bajo pH.

#### e) Tiempo de aireación insuficiente

Si el tiempo de retención hidráulico del sistema cae bajo el valor de diseño, hay un riesgo de que sólo se remueva parcialmente la materia orgánica del influente. Obviamente algunos sistemas son más sensibles a cambios en el tiempo de retención que otros. En el caso del proceso de lodos activados con aireación extendida, es razonable asumir que es menos sensible a cambios en el gasto influente que el proceso convencional.

Las acciones a llevar a cabo consisten en corregir o limitar la infiltración en la red de alcantarillado, poner en servicio tanques de reserva, incrementar los SSVLM o combinar estas acciones.

#### f) Masa biológica insuficiente

En cada planta se tiene una relación alimento-microorganismos óptima, que debe mantenerse a fin de asegurar que se cuente con una concentración adecuada de la masa biológica para degradar la carga orgánica influente. Los parámetros de control operacional, relación F/M y edad de los lodos, proporcionan al operador los medios para monitorear y mantener el nivel óptimo de SSVLM en el sistema.

Los principales factores que afectan para mantener una concentración suficiente de SSVLM incluyen:

- DBO<sub>5</sub> influente
- Tiempo de retención hidráulico
- Tasa de purga de lodos
- Tasa de recirculación de lodos

## **SEDIMENTACION DE SOLIDOS POBRE**

### **a) Lodo flotante vs. lodo abultado**

Hay problemas operacionales distintos que pueden ocurrir en las plantas de tratamiento que con frecuencia se confunden uno con otro. Estas condiciones reciben los términos de "lodo flotante" y "abultamiento de lodo". Es importante conocer la diferencia entre estos dos problemas, porque las causas que lo provocan son totalmente diferentes y por lo tanto, así deben ser las acciones correctivas.

El abultamiento del lodo se refiere a una condición donde el lodo no se compacta bien y no forma una carpeta densa del clarificador para dejar un sobrenadante claro sobre la superficie. En vez de esto, el floculo biológico permanece suspendido en toda el clarificador y es arrastrado en el efluente del sobrenadante. En otras palabras, en lugar de formarse una carpeta compacta de lodo denso, se genera una masa abultada de lodo.

El lodo flotante describe una condición donde los sólidos biológicos se han sedimentado y compactado en una forma normal en el clarificador, pero con la ocurrencia subsecuente de flotación de secciones discretas de la carpeta de lodos.

El lodo abultado es una condición que afecta uniformemente a todo el lodo descargado en el clarificador. En otras palabras, es raro que haya bolsas de lodo abultado y no abultado en el tanque. La condición es uniforme porque las propiedades de sedimentación o compactación del lodo en sí han cambiado. Una condición operacional que puede provocar este problema es una carga orgánica excesiva en el sistema biológico, que puede provocar la formación de un lodo ligero, suelto y blando, que exhibe poca compactación en las pruebas de sedimentación o cuando se introduce un clarificador.

Un lodo que tiende a flotar usualmente se atribuye a la formación de burbujas de gas en el manto de lodos en el fondo del clarificador. Las burbujas tienden a aumentar la fuerza de flotación provocando que algunas porciones del manto de lodo tiendan a elevarse. Esta condición probablemente ocurra en clarificadores donde se haya formado un medio séptico con resultado de la formación de gas sulfhídrico. También puede ocurrir una desnitrificación en el manto.

## b) Desfloculación

Implica la ruptura de partículas floculentas grandes, densas, sedimentables en partículas pequeñas, flotantes, con pobre sedimentabilidad. El resultado se manifiesta usualmente en un efluente turbio. Algunas causas típicas que provocan esta situación incluyen: desechos tóxicos, nutrientes insuficientes (nitrógeno o fósforo), sobrecarga orgánica o cargas de choque, condiciones anaerobias y en algunos casos, esfuerzos cortantes debidos a un mezclado o bombeo excesivo. La toxicidad usualmente se puede confirmar analizando metales pesados o materia orgánica tóxica en las aguas residuales y el lodo formado. Los análisis de nitrógeno y fósforo se deben hacer en muestras filtradas. Las sobrecargas o cargas de choque orgánicas se pueden identificar monitoreando diariamente en el efluente los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO. Las condiciones anaerobias pueden ser causadas por un mezclado pobre en el tanque de aireación y la formación resultante de bolsas de lodos en el tanque, o niveles de oxígeno disuelto bajos, no uniformes a lo largo del tanque. El esfuerzo cortante hidráulico usualmente no es un problema a menos que se sobrediseñe la capacidad de aireadores (normalmente entre 6.6 y 10.6 HP/1,000 m<sup>3</sup> de volumen de tanque).

## C) Flóculos aislados

Se caracterizan por pequeñas partículas ligeras que flotan hacia la superficie. Esta condición de sedimentabilidad pobre puede atribuirse a una edad de lodos corta; esto es, a un lodo joven. Este problema se puede resolver disminuyendo la tasa de purga de lodos a fin de incrementar la edad de lodos del sistema a un valor óptimo. El monitoreo diario de la edad de lodos y la relación F/M ayuda a prevenir que se presente tal condición.

## D) Flóculos de tamaño de la cabeza de un alfiler

Estas partículas pequeñas y densas producen un efluente con apariencia turbia. La formación es causada por una edad de lodos excesiva. Un lodo saludable se caracteriza por flóculos grandes que sedimentan gradualmente dejando un sobrenadante claro, compactándose bien en el fondo del clarificador. El lodo viejo sedimenta en forma discreta con pobre compactación y, por tanto no proporciona una buena acción de filtrado mientras sedimenta. Esta condición se puede mitigar incrementando la tasa de purga de lodos, a fin de conservar la edad de lodos dentro de un rango aceptable. De nuevo, el monitoreo consistente y el control de la edad de lodos prevendrán la ocurrencia de dicha condición.

### **e) Acarreo de sólidos**

Es causado por una condición más que biológica. Se tipifica usualmente por los sólidos que se extraen del clarificador a lo largo de secciones aisladas del vertedor de salida. Esto sucede cuando las crestas vertedoras están desniveladas, pues en estas secciones el flujojala sólidos del manto de lodos a mayor velocidad que en otras. Otras causas pueden ser una sobrecarga hidráulica del clarificador y/o un flujo no balanceado en los distintos clarificadores, causando que una unidad reciba más que otra con el resultado del acarreo de sólidos.

## **6.3 PLANTA DE TRATAMIENTO SANTA CATARINA**

La planta está diseñada para tratar un caudal de 75 lts/s mediante tres unidades de lodos activados a contracorriente, cada uno de ellos de 25 lts/s. Consta de tratamiento preliminar, tratamiento secundario con aireación por difusores, sedimentación secundaria y desinfección. Así mismo cuenta con unidades para el tratamiento y estabilización de los lodos generados por el proceso. En la fig. 5.1 se pueden observar las unidades que conforman el sistema de tratamiento.

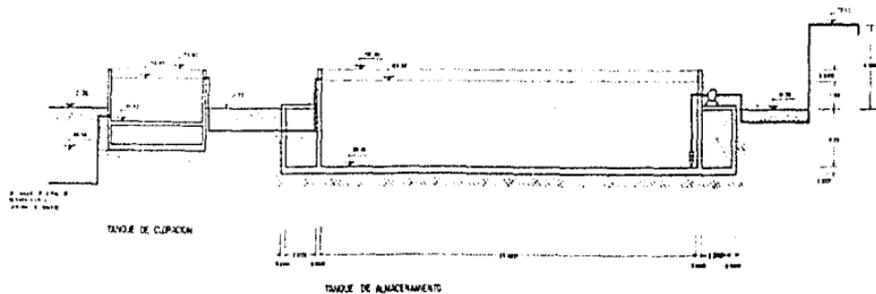
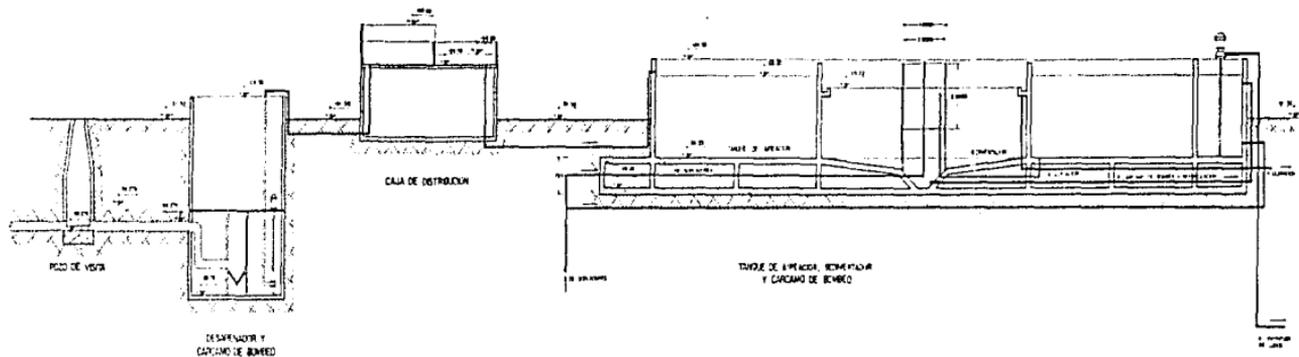
La planta es abastecida por un colector de 1.22 m que capta las aguas residuales generadas en la zona de Santa Catarina, la captación se realiza por medio de una tubería de 0.60 m conduciéndose ésta hasta el pretratamiento.

### **TRATAMIENTO PRELIMINAR**

El propósito del tratamiento preliminar consiste en separar las aguas negras, los sólidos grandes y arenas que pudieran obstruir o dañar los equipos de bombeo o afectar de alguna manera el tren de tratamiento. Este tratamiento consta de un canal abierto y una rejilla cuya inclinación con respecto al piso es de 45 grados. La separación entre barras es de 2 cm y su limpieza manual. Posterior a la rejilla se encuentra el desarenador, véase fig. 6.1.

### **TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Su propósito es proveer los requerimientos de oxígeno, nutrientes, mezclado y otras condiciones ambientales para que los microorganismos existentes en el agua degraden la materia orgánica en ella contenida y posteriormente efectuar la separación de los lodos del licor mezclado, produciendo un efluente clarificado; para ello se dispone de cuatro equipos principales:



PERFIL HIDRAULICO

FIGURA 8 - PERFIL HIDRAULICO PLANTA DE TRATAMIENTO SANTA CATARINA

**sistema de aireación, aspersión para rompimiento de espuma, sedimentador secundario y sistema de recirculación de lodos por bombeo, vease figura 6.1.**

#### **SISTEMA DE AIREACION**

Consta de un tanque de forma circular con un clarificador secundario separado y bombas de retorno de lodos activados. En el reactor de aireación el oxígeno es introducido en el licor mezclado mediante difusores montados en un puente viajero, la rotación del puente imparte un movimiento circular al licor mezclado y los deflectores son usados para controlar este movimiento. En el reactor de aireación, se mantienen las condiciones para inducir el crecimiento de los microorganismos desecables. El clarificador secundario es utilizado para separar los lodos del agua tratada, parte del lodo es retornado al reactor de aireación para mantener una concentración deseable de lodo, y parte se envía a la unidad de espesamiento para su manejo y disposición final.

#### **SISTEMA PARA ROMPIMIENTO DE ESPUMA**

La presencia de agentes surfactantes y la turbulencia creada por los equipos de aireación, generan espumas en el tanque, esta situación se considera indeseable por lo que para su control, cada modulo cuenta con una serie de boquillas de aspersión montadas en la parte superior del tanque en todo su perimetro. Dichas boquillas rocían agua provenientes del tanque de contacto de cloro, extinguiendo la espuma a medida que se forma.

#### **SEDIMENTADOR SECUNDARIO**

Su propósito es efectuar la separación de los lodos presentes en el licor mezclado, produciendo un efluente clarificado. Para lograr esto se cuenta con un tanque de seccion circular con flujo central y remoción mecánica de lodos. El clarificador está equipado con rastras espirales logarítmicas que son guiadas por la periferia del tanque. La configuración de las rastras espirales permite la remoción del lodo depositado dentro de una revolución. El sobreflujo limpio del clarificador secundario es descargado al tanque de cloración.

## **RECIRCULACION DE LODOS ACTIVADOS**

Los lodos activados recolectados en las tolvas del sedimentador secundario son extraídos por medio de carga hidráulica hacia un cárcamo de lodos equipado con una bomba de tornillo encamisada para el retorno de lodos hacia el tanque de aireación con el objeto de mantener la cantidad de microorganismos necesaria para degradar la materia orgánica presente en el agua. Así mismo, parte de los lodos se envía al tanque de espesamiento.

## **DESINFECCION**

Su propósito es la eliminación de la mayor cantidad posible de bacterias patógenas, la cual se realiza adicionando una solución de gas cloro en agua al efluente del sedimentador secundario. El sistema de cloración consta de un tanque de contacto de cloro que se localiza al final del sedimentador secundario y el cual está provisto de 4 mamparas, colocadas de tal manera que se tenga el tiempo de retención necesario (20 min para  $Q = 50$  lts/s o 13.3 min para  $Q = 75$  lts/s), además de un equipo dosificador de cloro.

El cloro se extrae de cilindros en forma de gas y se mezcla directamente con el agua tratada, inyectándose directamente en el inicio del tanque de cloración.

## **ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE AGUA TRATADA**

El agua tratada es conducida por gravedad hacia el tanque de almacenamiento con capacidad de 1 080 m<sup>3</sup>. Las dimensiones de este tanque son: ancho 12.42 metros, largo 24.84 metros y altura efectiva de 3.5 metros. El tiempo de almacenamiento es de 4 horas.

## **TRATAMIENTO DE LODOS**

La planta cuenta con el equipo necesario para el tratamiento de los lodos activados generados durante el proceso. El sistema de tratamiento de estos consta de: Un espesador de sección semi-circular cuya finalidad es la de disminuir el volumen de lodos mediante la eliminación de agua. Del cárcamo son enviados por bombeo hacia una centrifuga en la cual se lleva a cabo el proceso de deshidratado. El equipo opera en forma continua, los lodos se descargan por la parte inferior hacia una tolva y el agua por la parte lateral directamente al tanque de aireación.

## **6.4 PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN OPERACION**

Los programas de puesta en operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales incluyen dos fases, la puesta en operación mecánica y la del proceso. En esta parte se tratará la puesta en marcha del proceso.

Las principales funciones que tiene una planta de tratamiento de lodos activados con aireación extendida son:

- a) Remoción de la materia orgánica disuelta en el agua residual y conversión de ésta a una forma insoluble (materia celular).
- b) Separación de la materia insoluble del licor del agua residual para dar como resultado un efluente clarificado.
- c) Retorno de la materia celular sedimentada al sistema de aireación.

La puesta en operación se completa cuando las tres funciones se han establecido y normalizado.

### **PREPARACION PREVIA**

Las actividades incluyen: análisis de las aguas residuales, estimación de las cargas para el arranque, siembra de inóculo, verificación del equipo mecánico y familiarización con la operación de los componentes de la planta.

#### **a) Análisis de las aguas residuales**

Se debe proporcionar suficiente información analítica para estimar las cargas de inicio de la operación, requerimientos químicos, etc. En el caso de las aguas residuales de la planta de Santa Catarina, éstas serán conducidas por el emisor que recibirá las aportaciones de los colectores del pueblo de Santa Catarina. La evaluación del agua residual que llegará a la planta debe ser representativa de los colectores aportadores.

La información analítica que debe incluirse es: concentración de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, NH<sub>3</sub>, ortofosfatos, pH y análisis especiales. Además, se debe medir o estimar el gasto inicial para calcular las cantidades en peso de los constituyentes. La DBO<sub>5</sub> y la DQO proporcionan una estimación de la concentración orgánica de las aguas residuales y se pueden emplear para determinar la relación F/M de arranque.

Como se señaló previamente, el pH del agua residual por tratar con el proceso de lodos activados debe estar en el rango de 6.5 a 8.5. Si no es así se deben hacer provisiones para neutralizar el agua residual antes del arranque.

Los análisis de nitrógeno amoniacal y de ortofosfatos proporcionarán un estimado de la concentración de estos nutrientes requeridos por el proceso biológico. Estos nutrientes normalmente están contenidos en aguas residuales industriales.

Los análisis especiales son necesarios para conocer si hay influencia industrial en las aguas residuales que recibirá la planta. Así mismo los metales pesados y la materia orgánica tóxica son de gran importancia.

## b) Inóculo biológico

Las plantas de lodos activados se deben arrancar sembrando una cepa de microorganismos de una planta de tratamiento en operación. Este procedimiento reduce considerablemente el tiempo requerido para producir una población biológica a partir de los organismos naturales que contienen las aguas residuales. La calidad del material de siembra que se emplea tiene un impacto significativo en el resultado global del inicio de la operación.

El primer paso en el cribado de las fuentes potenciales de inóculo es seleccionar plantas de tratamiento que utilicen procesos similares a la de la planta de Santa Catarina y, más importante, que reciban y traten agua residual similar en características. Si las instalaciones que manejan aguas residuales no existen o no están cerca de la planta de Santa Catarina, entonces se puede usar otra cepa biológica que requerirá un período de aclimatación antes que la población comience a reproducirse rápidamente y se obtenga el tratamiento esperado.

El siguiente paso es visitar la planta y obtener muestras del material de siembra. Las fuentes preferenciales de inóculo incluyen:

- a) Lodo del bajo flujo del clarificador secundario
- b) Licor mezclado del tanque de aireación
- c) Licor mezclado del digestor aerobio

Después del muestreo se deben hacer exámenes microscópicos, lo que es una forma rápida y efectiva para determinar la calidad relativa del material de siembra. Un material de buena calidad contiene un número entre moderado y alto de formas mayores de vida microscópica, una población biológica activa y exhibe buena floculación.

Una verificación adicional que debe hacerse para evaluar el material de siembra es la prueba de consumo de oxígeno disuelto en cada muestra. Los rangos típicos de tasas de consumo de oxígeno son los siguientes:

PUNTO DE MUESTREO	TASA DE CONSUMO DE OD (mg/lts-h)	
	MUNICIPAL	INDUSTRIAL
Tanque de aireación	20-30	15-80
Lodo recirculado	30-50	20-100
Digestor aerobio	5-15	5-30

TABLA 6.1 TASA DE CONSUMO DE OXIGENO

El material de siembra que no exhiba características biológicas aceptables se deberá rechazar, aún si esto lleva a seleccionar una fuente alterna que no sea similar a la planta de tratamiento de Santa Catarina.

La mejor fuente de inóculo en una planta de tratamiento usualmente es el lodo de retorno. Normalmente es muy activo y mucho más concentrado que el licor mezclado del tanque de aireación. El licor del digestor aerobio, aunque es más concentrado que el de las otras dos fuentes, es menos activo.

Es importante que el autotanque de transporte de lodo para la siembra esté limpio. No debe contener residuos químicos de cargas previas que pueden destruir o inhibir el material de siembra antes de introducirlo a la planta.

### c) Estimación de la cantidad de inóculo requerido

Una vez que la fuente de inóculo se haya seleccionado, se debe hacer una estimación de la cantidad de lodo requerido. Normalmente es deseable establecer una concentración de SSVLM de 500 mg/lts en el arranque. Esta concentración puede ser más baja si la cantidad de inóculo es excesiva, resultando en costos de transportación muy altos. Debe hacerse notar que con concentraciones reducidas de SSVLM en el arranque, el tiempo para alcanzar un equilibrio es mayor, y la susceptibilidad a choques de carga y alteraciones es mayor también.

Para estimar el peso de inóculo requerido se emplea la siguiente expresión:

Peso de inóculo requerido (kg) = capacidad del tanque de aireación (m<sup>3</sup>)

Para estimar el volumen de inóculo requerido por tren se emplea la siguiente expresión:

Volumen del inóculo requerido (m<sup>3</sup>) =  $\frac{\text{Peso de inóculo requerido (kg)}}{\text{Concentración de inóculo (kg/m}^3\text{)}}$

### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS PARA LA PUESTA EN OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

No se debe intentar la puesta en marcha de la planta si no se han completado sustancialmente las instalaciones. Aunque esto parece una consideración obvia, muchas personas pueden definir "completar sustancialmente" en forma muy diferente:

Los aspectos que deben ser satisfechos son:

- a) Todos los tanques que se emplean en los procesos deberán probarse hidráulicamente y estar listos para recibir el flujo de agua según el perfil respectivo.
- b) Toda la instrumentación vital para el funcionamiento de los procesos deberá haberse probado.
- c) Las instalaciones eléctricas para el equipo clave deberán estar terminadas.

d) Todo el equipo mecánico fundamental, esto es, compresores de aire, difusores o mecanismos de los puentes, clarificadores y espesadores, bombas, dosificadores, filtros prensa, etc., deben haberse probado, lubricado y tener el visto bueno para el servicio.

e) Todas las condiciones para la operación deben ser seguras. Los equipos se deben probar total y rigurosamente antes de la puesta en operación. La falla de una pieza vital de equipo durante el arranque de la planta puede echar por tierra el trabajo realizado y requerir reiniciar los procesos.

## **CONOCIMIENTO DE LAS PARTES DE LA PLANTA**

El personal de operación de la planta debe estar familiarizado con los parámetros de diseño de las diversas instalaciones y con el equipamiento en particular, antes de la puesta en marcha. Esto, por supuesto, requiere que el personal ya esté contratado y en el sitio antes de que la planta esté funcionando. Aunque las actividades operacionales normales no se lleven a cabo durante el periodo preparado de arranque, este es un tiempo de aprendizaje muy importante y productivo para el personal.

Para familiarizarse con las instalaciones se requiere una orientación sobre los procesos y los equipos diversos. Desde el punto de vista de los procesos, el personal debe conocer los parámetros de diseño, que incluyen: gastos, cargas orgánicas (DBO<sub>5</sub> y DQO), volúmenes de tanques, tiempos de retención, capacidades y flexibilidad de los sistemas de aireación y de bombeo, concentraciones de sólidos suspendidos, dosificación de productos químicos, etc. Esta formación básica será el estándar con el cual la información de operación de los procesos se comparará. Esto se requerirá durante el periodo de puesta en marcha de la planta y deberá continuar posteriormente a lo largo de la operación normal diaria. Así mismo, es una necesidad obvia familiarizarse con los equipos de la planta en marcha. Por tanto, es conveniente que el personal de operación participe o sea testigo de las pruebas hidráulicas y mecánicas de los equipos. Durante este periodo es necesario que los equipos sean operados por representantes de los fabricantes o proveedores, además de los responsables de las instalaciones.

El proceso para familiarizarse con las partes componentes de la planta se completará mediante un entrenamiento formal, en dos etapas, antes del arranque. La primera, en un salón de clases que debe dirigir la firma consultora ejecutora del proyecto y debe diseñarse específicamente para las características particulares de la planta de Santa Catarina. La segunda, dirigida por los fabricantes o distribuidores de los equipos, para dar a conocer los detalles de las partes principales de los mismos equipos.

## PUESTA EN OPERACION DE LA PLANTA

Una vez que se ha completado la preparación de la planta, se puede iniciar la puesta en marcha poco a poco en la inteligencia de que se han aprobado las pruebas de tanques, tuberías, equipos e instalaciones eléctricas, se han limpiado tanques y tuberías y los tanques de proceso están parcialmente llenos con agua remanente de las pruebas. Además, debe estar listo el auto-tanque que transportará el lodo para la siembra. Se agrega agua residual al tanque de aireación que está parcialmente lleno. Esta agua residual será la fuente de alimento para el material de siembra. La cantidad de aguas residual que se añade se debe determinar por cálculo para prevenir un choque inicial a la biota. Enseguida se arranca el sistema de aireación: compresores, distribuidores y difusores, ajustando la cantidad de aire para mantener un nivel mínimo de oxígeno disuelto de 1 mg/lts.

El mezclado se logrará con la rotación del puente. Se agrega el material de siembra en el tanque y se deja airear de 12 a 24 horas antes de aplicar el flujo continuo de agua residual. El tiempo de aireación es determinado por una buena aclimatación del inoculo, definida por los exámenes microscópico y los análisis de materia orgánica soluble (DBO<sub>5</sub> y DQO<sub>5</sub>), que deben mostrar condiciones estables. Una vez que ha tenido lugar el periodo de aclimatación inicial, se pone en operación el mecanismo del clarificador y se establece el flujo de recirculación de lodos, siempre y cuando haya suficiente cantidad de agua en el clarificador. La recirculación se inicia con un gasto del ciento por ciento del gasto medio de diseño, con el fin de retomar rápidamente los sólidos sedimentados al aireador.

## RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE LOS PARAMETROS

**a) Oxígeno disuelto.** La concentración en el tanque de aireación se debe mantener entre 1 y 2 mg/lts. inicialmente, se requerirá un mínimo de sopladores en operación. Sin embargo, a medida que la población microbiana se incrementa, se incrementarán también los requisitos de aire.

**b) pH.** El rango en el tanque de aireación se deberá mantener entre 6.5 y 8.5, inicialmente, como los microorganismos producen  $\text{CO}_2$ , el pH puede bajar de 7, pero esto debe ser temporal, pues cuando el sistema alcance el equilibrio, el pH retornará a niveles cercanos al neutro.

**c) Nutrientes.** Se debe mantener el monitoreo de nitrógeno amoniacal y fósforo en el efluente del proceso biológico durante la puesta en operación. El mantener cantidades adecuadas de estos nutrientes es de vital importancia durante esta etapa, sobre todo cuando hay influencia industrial en las aguas residuales y se puede presentar un déficit de estas sustancias. Se debe asegurar que las muestras se filtren para hacer los análisis y así evitar errores de interpretación en cuanto a nutrientes disponibles.

**d) DBO<sub>5</sub> y DQO.** El principal objetivo del proceso de lodos activados con aireación extendida es remover la DBO<sub>5</sub> soluble para convertirla en materia celular; por lo tanto, los datos de estos parámetros se emplean para evaluar el comportamiento del proceso durante la puesta en operación. Esto se logra de dos formas:

Las concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO del influente al tanque de aireación se comparan con las del efluente del secundario para determinar la eficiencia de remoción del sistema de lodos activados.

Inicialmente la eficiencia de remoción será baja porque el inoculo biológico no está completamente aclimatado con el agua residual y, por tanto, no remueve cantidades significativas de materia orgánica. Sin embargo, una vez que el inoculo llegue a estar suficientemente aclimatado, se notará un rápido incremento en la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>, hasta alcanzar el máximo esperado para las condiciones de operación existentes. Si el máximo se mantiene invariable bajo condiciones de flujo de carga de diseño, es indicativo que el proceso estará alcanzando una condición de estado establecido y la puesta en marcha del sistema estará progresando hacia condiciones normales de operación.

**e) Calidad del efluente.** La DBO<sub>5</sub> y DQO soluble en el efluente del secundario no llegará a alcanzar valores nulos, debido a la naturaleza biológica del sistema, pues las células se están reproduciendo y muriendo constantemente. La reproducción consume DBO<sub>5</sub> y la muerte genera DBO<sub>5</sub>.

**f) SSLM y SSVLM.** Estos datos se emplean para valuar el crecimiento de la biomasa. El cultivo inicial es el material sembrado en el sistema, a medida que se aclimata a la materia orgánica del agua residual se reproducen nuevas células, dando como resultado un incremento en el número de sólidos en el sistema. Los SSV representan, en forma aproximada, el material celular biológico.

**g) El incremento en el número de células en el sistema y la tendencia de la eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>.** Esto ocurre porque la cantidad de sólidos biológicos que crecen es directamente proporcional a la cantidad de DBO<sub>5</sub> removida.

Para el proceso de lodos activados con aireación extendida en contracorrientes se requiere un nivel de SSLM entre 2,500 y 7,500 mg/lts, siendo los SSVLM aproximadamente el 65% de los SSLM. Para el diseño se consideraron 5000 mg/lts de SSLM.

Si la concentración de SSVLM disminuye abajo de 1,000 mg/lts, el proceso biológico es en extremo susceptible a "choques" causados por variación de pH, temperatura, carga orgánica y otros, lo que se refleja en la calidad variable del efluente.

Una vez que la concentración de SSLM haya alcanzado el nivel deseado, se deberá establecer el programa de purga de lodos. Este programa se basa en el control de la relación F/M, como ya se indicó. Cuando se inicie la purga se deberán hacer con la mitad del gasto calculado incrementando gradualmente cada día hasta alcanzar el valor deseado.

**h) Tasa de consumo de oxígeno.** La información obtenida indicara con el examen microscópico, si la siembra inicial ha sido exitosa y si el proceso esta progresando normalmente. La tasa de consumo también es un indicador de la actividad biológica relativa.

La tasa de consumo de oxígeno en un tanque de aireación recién sembrado es baja o no se puede medir. Sin embargo, una vez que se obtenga una medida, el consumo de oxígeno se incrementará invariablemente.

Cada vez que ocurra un incremento en la carga orgánica (aumento de la relación F/M), se detectará un incremento en la tasa de consumo de oxígeno.

**i) Exámenes microscópicos.** Son uno de los principales indicadores de la "salud" del sistema durante la puesta en marcha de la planta, porque la biomasa se está observando directamente. Esta es sensible a cambios, sean condiciones que mejoren o que empeoren, y exhibe una respuesta rápida a los mismos, que se puede detectar mediante esta técnica.

Como se señaló, una población biológica sana debe contener un gran número de formas mayores de vida microscópica, ser activa y exhibir una buena formación floculenta. Estas condiciones no se presentan en un tanque de aireación recién sembrado por la alta dilución que se tiene al inicio de la operación y por la necesidad de un período de aclimatación para la cepa biológica que se siembra. Al principio la cepa se inhibe o mueren muchas de las formas mayores presentes. Al mismo tiempo, también hay un descenso en la movilidad de algunas formas. Esta condición es temporal. Los indicadores microscópicos mejorarán de acuerdo con la aclimatación y serán normales una vez que se logre la concentración deseada de SSI.M.

**j) Pruebas de sedimentación.** Diariamente se debe realizar esta prueba durante 30 minutos, que viene a ser indicador de las propiedades de asentamiento del licor mezclado. Un tanque de aireación recién sembrado no mostrará características aceptables de sedimentación floculenta, ni su lodo tendrá un alto grado de compactación durante la prueba. Sin embargo, como ocurre con otros parámetros, esta condición también es temporal.

Los sólidos sedimentarán en forma discreta al inicio. Esto es, se asentarán como partículas simples más que como flocúlos grandes, cuando aumente la concentración del licor mezclado, el lodo sedimentará con una interfase definida entre la carpeta sólida y el sobrenadante claro.

## **6.4.1 PROBLEMAS TÍPICOS DURANTE LA PUESTA EN OPERACION**

Independientemente de la buena planeación que se haya hecho para la fase de arranque, siempre se presentarán algunos problemas. A continuación se comentarán los más característicos desde el punto de vista de los procesos.

## ESPUMAMIENTO

En el inicio la operación puede aparecer una generación de espuma relativamente alta. Sin embargo, a medida que la concentración de sólidos suspendidos en el sistema se incrementa, la espuma se abatirá. Como puede tener lugar cierto grado normal de espumación, no es raro que permanezca continuamente en el tanque de aireación.

Los factores que con frecuencia promueven la generación de espuma incluyen: incrementos de temperatura, pH y carga orgánica, además de niveles excesivos de oxígeno disuelto, contenido de grasas y aceites en el agua residual y corrientes laterales de retorno de otros procesos dentro de la planta.

Los problemas más severos de formación de espuma son producidos por dos factores: altos valores de pH, grasas y aceites. Un pH alto promueve la formación de "jabón" a partir de la materia grasosa y aceitosa. Una gran cantidad de jabón es soluble, por lo que se acarrea al tanque de aireación donde se agita vigorosamente. El exceso de espuma se puede eliminar neutralizando el pH o eliminando la fuente del material grasoso y aceitoso. Este problema se agudiza con la presencia de detergente no biodegradable.

## PROBLEMAS DE SEDIMENTACION

La descarga de sólidos finos en el efluente de la planta es frecuente durante la primera etapa de operación. Esto es resultado, en parte de la aclimatación del material biológico de siembra.

Parte del inoculo no se aclimata a el nuevo sistema, morirá y se purgara cuando se establezca el flujo normal. La purga inicial de estos sólidos se limitará al primer día de establecimiento del flujo.

Otros problemas de sedimentación durante la etapa de arranque se atribuyen a cargas orgánicas extremas. Las cargas orgánicas altas dan como resultado un crecimiento disperso de organismos que sedimentan pobremente. Además, puede resultar un desarrollo de organismos de tipo filamentosos, que pueden interferir en el proceso de sedimentación.

La carga orgánica en exceso debe regularse o reducirse en la fuente de generación, o el licor mezclado del tanque de aireación se debe incrementar adicionando mayores cantidades de inóculo. Si no son factibles éstas medidas, se puede instalar temporalmente un sistema de dosificación química para aplicar ayudas de floculación en el clarificador secundario hasta que el proceso mejore.

Los problemas de sedimentación también se pueden presentar cuando se inicia el acondicionamiento de los lodos. Esto es con frecuencia el resultado de corrientes laterales tales como el sobrenadante de espesamiento y el filtrado de desaguado, que retornan al cárcamo de agua cruda. Aunque estas corrientes se tomaron en cuenta en el proyecto de la planta, pueden exhibir una concentración mucho más alta durante esta fase de operación. Este efecto no debe atribuirse a problemas de funcionamiento del proceso de lodos activados.

### **BAJA REMOCION DE DBO<sub>5</sub>**

Al sistema biológico de lodos activados le toma tiempo lograr la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> establecido en el proyecto, que depende del crecimiento y diversidad de biomasa que se va logrando. Por lo tanto, es de esperarse una eficiencia baja de remoción de DBO<sub>5</sub> durante los primeros días de la puesta en operación de la planta de tratamiento. sin embargo, la baja remoción de DBO<sub>5</sub> puede resultar de otros factores, que muchas veces son menos esperados.

Las altas cargas orgánicas de choque en el sistema pueden producir una concentración alta de DBO<sub>5</sub> en el efluente y, por tanto, una baja eficiencia de remoción. Como guía se pueden considerar cargas de choque si se obtiene como resultado relaciones de F/M mayores a 1.0. Para estos casos se pueden aplicar las misma medidas correctivas que se señalan para los problemas de sedimentación.

La eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> en cierta forma es dependiente de la temperatura, decreciendo la actividad biológica con temperaturas bajas; por tanto, dadas condiciones similares, tomará un tiempo mayor alcanzar la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> deseada durante una época fría que en una caliente. Las condiciones de baja temperatura se pueden compensar incrementando la cantidad de material de siembra empleado para arrancar el proceso, o permitiendo que la concentración del licor mezclado aumente a valores mayores

## 6.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El propósito principal de las guías de mantenimiento preventivo es ayudar al operador a ordenar y sistematizar sus actividades dentro de la planta de tratamiento.

Es muy importante que se realice periódicamente el mantenimiento preventivo, pues cuando un equipo está en mal estado, su eficiencia disminuye y repercute en la cantidad y calidad del agua tratada. En la tabla 6.2 se presenta las guías de mantenimiento preventivo diseñadas de acuerdo con el equipo existente en la planta de tratamiento de Santa Catarina; en ellas se mencionan las actividades que deben seguirse y la frecuencia con la que deben realizarse dichas actividades, que pueden ser por turno semanal, mensual, etc.

De esta manera se conseguirá mantener el mejor y buen funcionamiento de los equipos y dispositivos y/o aditamentos que integran la planta.

PLANTA SANTA CATARINA TLAHUAC, D.F. FICHA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE _____ LOCALIZACION _____ UNIDAD _____
--

FECHA	ACTIVIDAD	REALIZO	SUPERVISO	COMENTARIOS

TABLA 6.2 GUIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

## **6.6 DETECCION Y SOLUCION DE PROBLEMAS OPERACIONALES**

Es recomendable que los operadores estén familiarizados con los lineamientos generales del proceso, así como de las características de las aguas residuales que alimentan a una planta de tratamiento, los caudales que se manejan, comportamiento hidráulico de los equipos involucrados, diseño de la planta, procedimientos operacionales y valores actuales de los parámetros de carga antes de aplicar estas guías pues de no ser así, pueden obtenerse resultados adversos en lugar de solucionar los problemas.

El operador de la planta de tratamiento debe estar plenamente consciente y contar con los elementos técnicos necesarios para aplicar las medidas adecuadas y poder mitigar o corregir los problemas operacionales del proceso.

1. Registro de datos operacionales. Resultados fisicoquímica y biológica del agua influente y efluente.

2. Bitácora de operación. Para llevar a cabo un eficiente control de la operación de la planta en general debe llevarse por cada turno que se trabaja en la planta y de esta forma el operador del turno siguiente tendrá una información amplia y precisa de la operación de la planta o de las actividades programadas. Se debe llevar el control de los siguientes gastos:

- **Influente.** Debe anotarse el gasto de agua residual que entra a la planta, en lts/s y la hora en que se realizó la medición, así como también una breve descripción de las características del caudal.

- **Recirculación.** Debe anotarse el gasto de recirculación en lts/s con el cual se ha estado trabajando y la hora en la que se realizó la medición. Además en el caso de que se hayan realizado variaciones en el gasto de recirculación, éstas deben anotarse en la parte correspondiente a características, así como también su justificación.

- **Purga.** Debe anotarse el gasto de purga que se hizo en lts/s y la hora en la que se realizó, o en su defecto, las características de la purga.

- **Cloro.** Se anotará el gasto de cloro, en lts/s que se han suministrado para la desinfección del agua tratada y la hora en la que se midió el caudal.

- **Efluente.** Debe anotarse el gasto de agua renovada, en lts/s, que sale de la planta y hora en la que se llevó la medición del caudal y las características de este.



## **6.7 SEGURIDAD EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

En una planta de tratamiento los riesgos más comunes son:

**1. Contraer enfermedades infecciosas.** Estas son causadas tanto por bacterias como hongos, las cuales se encuentran en el agua residual. Para evitar este tipo de enfermedades se recomienda:

- Utilizar los implementos de trabajo, como guantes, batas, ropa de trabajo, etc. cuando se realice cualquier tipo de trabajo que tenga que ser tanto con la limpieza de las unidades de tratamiento como el equipo de las mismas.
- Se recomienda no hacer uso del agua tratada para efectos de aseo personal, o como bebida.
- En caso de que se produzca una herida, cuando se este realizando cualquier trabajo referente al tratamiento de agua residual, se deberá asear con agua potable e inmediatamente aplicar tintura de yodo u otro medicamento que tenga los mismo efectos desinfectantes.
- En caso de que se tenga contacto con los lodos activados y/o agua residual, inmediatamente lavarse las manos con agua potable y jabón.
- Cuando se realice la limpieza del canal de rejillas se deberá usar botas de hule y guantes, para evitar en lo posible accidente o infección.

**2. Daños físicos por accidente.** Para evitarlos se recomienda:

- Los pasillos de tránsito deberán estar libres de obstáculos y limpios para evitar cualquier tipo de accidentes.
- Cuando se realice la inspección de todo el proceso se recomienda que se realice con un máximo de 2 personas debida a que los pasillos son estrechos a lo largo del tren de tratamiento.
- La inspección de los tanques deberá ser primordialmente durante el día, en caso de ser necesaria la inspección en el turno de la noche se verificará que el alumbrado sea adecuado y en caso de no ser así la revisión será con lámpara en mano.

**3. Intoxicaciones.** El tipo de intoxicación más común que puede presentarse es por **gas cloro** mostrando irritación en los ojos, del sistema respiratorio de las mucosas, y la presencia de **tes**.

En caso de detectar la presencia del olor característicos del cloro se deberá utilizar el **equipo de seguridad** consistente en mascarilla y aire comprimido, para localizar la fuga se deberá utilizar una estopa mojada con amonio que amarrado a una varilla se acercará a la posible fuga la cual desprenderá humos blancos que indicarán la presencia de gas cloro.

## **CAPITULO 7**

### **COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

## **7. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

La impostergradable protección ambiental y el obligado cumplimiento de las mínimas normas para la descarga de las aguas residuales, son el punto de partida para generar nueva tecnología y nuevas ideas, que indudablemente se gestarán con incrementos de costos correspondientemente.

En los momentos actuales en que los recursos se deben racionalizar y priorizar, surge como una necesidad, en primera instancia, el reuso del agua, con el objeto de abatir los requerimientos de agua natural y sustituir la demanda del vital líquido por aguas residuales tratadas, en las actividades que no requieren de una calidad de agua potable, tarea que reforzará la surgiente cultura del agua entre los usuarios de los servicios hidráulicos de la Cd. de México.

Una cantidad de nuevas y adecuadas plantas de tratamiento de agua residual son necesarias para satisfacer la creciente demanda de la comunidad y sustituir las antiguas y obsoletas plantas existentes.

Los ingenieros consultores, las empresas especializadas, y las autoridades competentes deben analizar y dar a conocer la tecnología de punta que pueda hacer menos costosas, más eficientes y más versátiles las plantas de tratamiento de agua residual. Un ejemplo de lo antes mencionado es el proceso de Aireación a Contracorriente próximo a utilizarse en Santa Catarina, basado en investigaciones Holandesas y desarrollado por la Alemania Federal.

Existen más de 2500 plantas de este tipo operando en todo el mundo, actualmente más 100 de ellas se encuentran en los Estados Unidos. Además, se encuentran varias más en construcción en la unión americana y tan solo una en la República Mexicana, localizada en el ex-lago de Texcoco con una capacidad de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , la cual está detenida por falta de recursos.

Todas las plantas arriba mencionadas se encuentran operando por arriba de las condiciones de diseño con excelentes resultados.

En conclusión, el tratamiento de Aireación a Contracorriente es lo último en tratamientos de agua residual, superando a procesos existentes, con un gran ahorro en los costos de energía, menor requerimiento de espacio y bajos costos de mantenimiento. Se puede deducir por tanto, que solo si se deseara tener un manejo de lodos se optaría por otro tratamiento y que en caso de posibles ampliaciones del sistema de tratamiento, estas serían mucho más económicas que en cualquier otro proceso.

Por todo lo anterior mencionado se concluye la presente tesis resumiendo lo siguiente:

**A)** El terreno propuesto se localiza al sur del Eje Vial 10 Sur, junto a la planta de LICONSA, próximo a la autopista México-Puebla, en la delegación Tlahuac, en la Cd. de México. El predio presenta una topografía plana, teniendo una área de 9600 m<sup>2</sup>.

**B)** La planta de tratamiento de aguas residuales bajo el proceso de aireación a contracorriente estará integrada principalmente por las siguientes estructuras:

Tres grandes tanques de aireación ( en una primera etapa sólo se construirán dos ), un tanque de almacenamiento, una caja de distribución, una caseta de cloración, y un cárcamo de bombeo.

Las estructuras secundarias son una caseta de vigilancia, una tolva para retiro de lodos, etc.

**C)** El sitio en estudio se localiza en la Zona de Lago, según la zonificación geotécnica del Valle de México. Como el terreno se encuentra cercano a la Sierra de Santa Catarina, el espesor de las arcillas es variable a lo largo del predio, siendo ligeramente más reducido hacia la dirección oriente. Por ello en esta zona a consecuencia del hundimiento regional del Valle, se presentan asentamientos diferenciales que generan problemas de fisuramiento del suelo, desarrollando grietas cubiertas por los estratos aluvio-lacustres depositados en épocas recientes.

**D)** Tomando en cuenta las características estratigráficas del sitio y el tipo de estructuras que conforman a la planta, el tipo de cimentación más adecuada para las estructuras principales, consiste en cajones de cimentación. Las estructuras complementarias, tales como caseta de vigilancia, tolvas etc., se cimentarán con una losa corrida de concreto reforzado.

**E)** Se podrán realizar las excavaciones en forma simultánea, teniendo como restricciones las relativas al tránsito de equipo y almacenaje de materiales, así podrá iniciarse con los dos tanques de aireación, para en una segunda etapa, proceder con el resto de las estructuras.

**F)** Debido a los grandes espesores de arcilla blanda y para evitar problemas asociados a falla de fondo o falla por subpresión, se utilizará la técnica de lumbrera flotada, de la cual se tiene mucha experiencia debido a la construcción de plantas similares y más específicamente la correspondiente a la del ex-lago de Texcoco.

**G)** De conformidad con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, el coeficiente sísmico correspondiente a la zona geotécnica donde se erigirá la planta de tratamiento será 0.4.

**H)** El proceso de aireación a contracorriente dentro de la planta de tratamiento de Santa Catarina en Tlahuac se resume como sigue

El sistema está diseñado para una capacidad de 75 lts/s mediante un proceso biológico de baja carga, que es básicamente el proceso de aireación extendida a contracorriente.

El tratamiento comienza cuando el agua cruda es tratada preliminarmente mediante rejillas de limpieza manual, las cuales retienen y eliminan de el agua algunos sólidos flotantes. Después el agua es conducida hacia un cárcamo de bombeo, donde las operaciones de desarenación y remoción de grasas y aceites se llevan a cabo en esta misma unidad, pero en secciones distintas separadas por mamparas, terminando así el tratamiento primario. En seguida, el efluente por bombeo, es conducido a una caja derivadora la cual conduce el agua residual a través de canales parshall para conocer y controlar los caudales que ingresan a la planta de tratamiento, además de distribuir el gasto a cada uno de los módulos de tratamiento con capacidad nominal de 25 lts/s ; los cuales pueden operar independientemente uno del otro. Entonces, de la caja de distribución el agua es llevada a los diferentes módulos que incluyen, tanques de aireación y clarificadores finales, con lo cual se inicia el tratamiento secundario por medios biológicos realizandose la remoción aerobia de materia orgánica y nutrientes.

El sistema de aireación a contracorriente será realizado por difusión mediante líneas de difusores que van suspendidas de un puente móvil, el cual tiene un apoyo central de pivote, y el otro apoyo lo proporciona un carro motriz que recorre el muro perimetral del tanque.

Cabe mencionar que el tanque de aireación incluye una seccion circular desnitrificadora, la cual es carente de oxígeno disuelto, y únicamente se le proporciona mezcla mecánica a la masa de agua.

A continuacion, el agua pasa al clarificador final, el cual posee características muy parecidas a las de los tanques de aireación. Finalmente, las aguas tratadas provenientes de los clarificadores serán cloradas y almacenadas para su transferencia al sitio de disposición para su reuso.

I) Es primordial rescatar la experiencia de 10 años de impulso dado a este tipo de plantas, debido a que la ineficiencia en la operación de éstas a acabado con toda expectativa de diseño.

Debemos terminar con la gran cantidad de proyectos que hasta esta fecha se han logrado pero que mal funcionan o que están fuera de servicio dada la inoperatividad tanto economica como técnica.

En la actualidad una solución para los casos arriba mencionados ha sido la **concesión de estos proyectos**, donde hablando específicamente de plantas de tratamiento se comienza a crear lo que podríamos llamar "La Industria de el Agua". Tal es el caso de la planta "Lechería" en el Edo. De México la cual, por su misma concesión a salvado toda una gran infraestructura y a terminado con el mal funcionamiento heredado.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- PLAN REGIDOR DE AGUAS RESIDUALES. México. Presidencia de la República. Coordinación de proyectos de desarrollo, reuso y recirculación de agua , 1995.
- 2.- PLAN DE DESARROLLO 1995-2000. México. Presidencia de la República, 1995.
- 3.- OPEN CHANNEL HYDRAULICS. Ven Te Chow. International Student Edition, 1990.
- 4.- HIDRAULICA GENERAL . Gilberto Sotelo Avila, 1990.
- 5.- APUNTES DE INGENIERIA SANITARIA. Facultad de Ingeniería, UNAM. Ernesto Murguía Vaca.
- 6.- MECANICA DE SUELOS Tomo I Y II . Juárez Badillo y Rico Rodríguez, Segunda Edición.
- 7.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Seminario Impartido en la División de Educación Continua, UNAM. Mayo 1995.
- 8.- COMPORTAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS. Murillo R . Obras recientes en el Ex- Lago de Texcoco, México, 1984.
- 9.- EL LAGO DE TEXCOCO, EL SUBSUELO Y LA INGENIERIA DE CIMENTACIONES EN EL AREA URBANA DEL VALLE DE MEXICO. Murillo R., 1978.
- 10.- LEY DE AGUAS NACIONALES 1995

- 11.- LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE. 1995.
- 12.- NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL D.F., PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES. Gaceta Oficial, 1987.
- 13.- MANUAL DE DISEÑO GEOTECNICO Vol. 1, COVITUR, 1987.
- 14.- NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL D.F., PARA EL DISEÑO POR SISMO. Gaceta Oficial, 1987.
- 15.- METODOLOGIA DE EVALUACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO CNA-IMTA. Jesús García O. México, 1993.