



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA

FACTORES TECNICOS QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO  
EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL  
PARA CONJUNTOS HABITACIONALES

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
ALBERTO SAUCEDO MACIEL

MEXICO, D.F.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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 está 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.

# CONTENIDO

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

RESUMEN

1.	INTRODUCCION	1
2.	PROBLEMATICA EN MEXICO	3
2.1	Situación actual	3
2.2	Normatividad vigente	7
3.	ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	12
3.1	Necesidad del tratamiento	12
3.2	Fuentes de las aguas residuales domésticas	13
3.3	Composición	13
3.4	Evacuación	15
3.5	Disposición	15
	3.5.1 Disposición por dilución	16
	3.5.2 Disposición como recarga en acuíferos	16
	3.5.3 Disposición en terreno	17
4.	TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	18
4.1	Clasificación de los procesos	18
4.2	Definición de los niveles de tratamiento	20

4.2.1 Tratamiento preliminar	21
4.2.2 Tratamiento primario	22
4.2.3 Tratamiento secundario	22
4.2.4 Tratamiento terciario	22
4.2.5 Tratamiento y disposición del lodo	22
4.3 Descripción de los procesos de tratamiento	23
4.3.1 Procesos físicos	23
4.3.1.1 Cribado	23
4.3.1.2 Desarenado	24
4.3.1.3 Sedimentación	24
4.3.2 Procesos biológicos	27
4.3.2.1 Lagunas de estabilización	27
4.3.2.2 Lodos activados	28
4.3.2.3 Filtros percoladores	30
4.3.2.4 Fosa séptica	30
4.3.2.5 Tanques Imhoff	31
4.3.2.6 Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB)	33
4.3.3 Proceso químico de cloración hasta punto de quiebre	35
4.3.4 Tratamiento de lodos	36
4.3.4.1 Digestión anaerobia	36
4.3.4.2 Digestión aerobia	38
4.3.4.3 Estabilización con cal	38
5. ASPECTOS DE INGENIERIA CIVIL A SER CONSIDERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO	40
5.1 Topografía del terreno	42
5.2 Condiciones geotécnicas	43
5.3 Cimentación	44
5.4 Impermeabilización de las estructuras	47

5.5 Calidad de los materiales	51
5.6 Procedimientos constructivos	55
5.7 Sistemas de conexión	58
5.8 Operación y mantenimiento	59
6. CASO DE ESTUDIO: UNIDADES HABITACIONALES DEL INFONAVIT	61
6.1 Análisis global de las plantas de tratamiento inspeccionadas	41
6.2 Recomendaciones para la rehabilitación de los sistemas instalados	70
6.2.1 Aspectos administrativos	70
6.2.1.1 Aplicación de subsidios	71
6.2.1.2 Aplicación por cobros de descarga	71
6.2.1.3 Organismos operadores	72
6.2.1.4 Reuso del agua como incentivo económico	74
6.2.2 Modificaciones a los procesos	75
6.2.2.1 Tanques Imhoff	75
6.2.2.2 Filtros percoladores	76
6.2.2.3 Lagunas y fosas sépticas	78
7. CONCLUSIONES	81
8. BIBLIOGRAFIA	83
ANEXO 1	
ANEXO 2	

## TABLAS

TABLA 2.1	CONDICIONES DE CALIDAD DE LA DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A ALCANTARILLADO	8
TABLA 2.2	CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A ALCANTARILLADO, EMISORES O RIEGO AGRICOLA	9
TABLA 2.3	CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA REUSO QUE INVOLUCRE EL RIESGO DE CONTACTO DIRECTO	10
TABLA 4.1	NIVELES DE TRATAMIENTO CON BASE EN EL GRADO DE CALIDAD DESEADO	21
TABLA 4.2	PARAMETROS DE DISEÑO DE REJILLAS	24
TABLA 4.3	PARAMETROS DE DISEÑO PARA SEDIMENTADORES RECTANGULARES Y CIRCULARES EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO	25
TABLA 4.4	CRITERIOS DE DISEÑO PARA ALGUNOS TIPOS DE LODOS ACTIVADOS	29
TABLA 4.5	TIEMPOS DE RETENCION CELULAR RECOMENDADOS PARA DISEÑO	37

TABLA 4.6	POTENCIAL DEL LODO COMO FERTILIZANTE	37
TABLA 4.7	DOSIS TÍPICAS DE CAL PARA ESTABILIZAR LODO HUMEDO	39
TABLA 6.1	ESTADO ACTUAL DE OPERACION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO INSPECCIONADOS	63
TABLA 6.2	CONSUMO MEDIO DE AGUA EN LITROS/PERSONA/DIA	74

## FIGURAS

FIGURA 2.1	Precipitación media anual en mm	4
FIGURA 4.1	Flujo de energía en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales	20
FIGURA 4.2	Vista en planta y de perfil de una unidad de rejillas	26
FIGURA 4.3	Vista en planta y perfil de una fosa séptica	31
FIGURA 4.4	Sección transversal de un tanque Imhoff	32
FIGURA 4.5	Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente	34
FIGURA 4.6	Cloración hasta punto de quiebre	35
FIGURA 5.1	Falla de talud	42
FIGURA 5.2	Perfil del suelo bajo una estructura	44
FIGURA 5.3	Hundimientos en suelos blandos	45
FIGURA 5.4	Compensación total en suelos blandos	46

<b>FIGURA 5.5</b>	<b>Ruptura de conexiones debida a flotación</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 6.1</b>	<b>Número y tipo de plantas de tratamiento examinadas en 4 Delegaciones Estatales del INFONAVIT</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 6.2</b>	<b>Estado actual de operación de los sistemas de tratamiento</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 6.3</b>	<b>Sitios de descarga de los sistemas de tratamiento</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 6.4</b>	<b>Modificación del tanque Imhoff a un reactor UASB</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 6.5</b>	<b>Distintos tipos de empaques</b>	<b>79</b>

**ANEXO 1**  
**FOTOGRAFIAS**

FOTOGRAFIA 6.1	AUSENCIA DE COMPUERTAS DIRECTORAS
FOTAGRAFIA 6.2	ESTADO ACTUAL DE ABANDONO
FOTOGRAFIA 6.3	VISTA DE LA LAGUNA
FOTOGRAFIA 6.4	VISTA SUPERIOR DE LA PLANTA Y SU CERCANIA AL RIO CAZONES
FOTOGRAFIA 6.5	NIVEL ALCANZADO EN EPOCA DE LLUVIAS EN UNA DE LAS PAREDES DEL TANQUE
FOTOGRAFIA 6.6	PROBLEMAS DE INUNDACION EN LAS UNIDADES HABITACIONALES
FOTOGRAFIA 6.7	POSIBLE FALLA POR FLOTACION
FOTOGRAFIA 6.8	VISTA DEL FILTRO PERCOLADOR
FOTOGRAFIA 6.9	ESTRUCTURA DE DISTRIBUCION CAIDA
FOTOGRAFIA 6.10	ASPECTO DE LAS PASARELAS

**FOTOGRAFIA 6.11**

**DEFLEXIONES APRECIABLES**

**FOTOGRAFIA 6.12**

**ORGANISMO OPERADOR  
RESPONSABLE EN ACAPULCO**

## RESUMEN

En el presente trabajo, se estudia la problemática, en materia de saneamiento, que tienen 4 Delegaciones Estatales del INFONAVIT (Veracruz, Guerrero, Puebla y Morelos) con sus conjuntos habitacionales; ya que éstos, tienen una infraestructura de tratamiento instalada y se pretende conocer porqué no funciona, en la mayoría de los casos, dicha infraestructura.

Para la solución de la parte técnica, se necesita identificar los aspectos de ingeniería civil, que permitan encontrar las fallas de las instalaciones de tratamiento inspeccionadas. Una vez encontradas las fallas, se procede a buscar las causas que las originaron y se manifiestan alternativas de solución, así como, se propone la rehabilitación de la infraestructura instalada, con base en adecuaciones referidas a sistemas de tratamiento ya conocidos.

La finalidad del presente documento, es la de proporcionar un punto de referencia en la construcción de sistemas de tratamiento, así como la de plantear un esquema en el mecanismo administrativo después de la construcción, para que en un futuro, se puedan concebir sistemas de tratamiento, sin vicios y errores de tipo administrativo y técnico.

## 1. INTRODUCCION

La calidad de vida del hombre depende de muchos factores, entre los que se encuentran en forma primordial, tanto la cantidad como la calidad del agua utilizada. Este aspecto se ha vuelto en ciertos casos limitante, ya que con los grandes conglomerados humanos y el advenimiento de la industrialización, la cantidad de desechos ha aumentado considerablemente. De esta manera, nacen los problemas de contaminación asociados con el agua.

La contaminación del agua siempre ha existido; basta recordar las diversas condiciones en que ésta se encuentra en la naturaleza, en cuanto a sus características físicas. La naturaleza mantiene un papel importante en el ciclo hidrológico, el cual contribuye de alguna manera, a degradar, y al mismo tiempo, a autodepurar todo tipo de escurrimientos superficiales y subterráneos. Sin embargo, es clara la diferencia que existe entre la contaminación provocada por el hombre y la que se genera de una manera natural.

El hombre ocasiona graves problemas de contaminación en cuerpos de agua, debidos a las descargas de aguas residuales municipales e industriales, así como a la disposición de residuos sólidos en cauces naturales y depósitos lacustres; todo ello, provocado por un constante crecimiento de la población y la centralización de ésta.

Los problemas de los grandes asentamientos urbanos en México, son producto de una compleja interacción de factores políticos, económicos y sociales, en donde la población crece rápidamente a causa de una alta concentración de la actividad

económica; esto tiene como consecuencia, un incremento en la necesidad de más y mejores viviendas, así como de servicios públicos entre otros factores.

Si bien la vivienda es un problema actual de gran trascendencia, un aspecto que es olvidado o recibe un segundo lugar en la lista de prioridades de los servicios públicos, es el tratamiento de las aguas residuales. Por ello, organismos gubernamentales como el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda de los Trabajadores (INFONAVIT), construye plantas de tratamiento con la intención de mejorar la calidad del agua de las descargas provenientes de sus conjuntos habitacionales.

El INFONAVIT realiza esfuerzos muy importantes, adicionales a los de la vivienda, en materia de saneamiento; sin embargo, estos esfuerzos deben estar mejor coordinados con el organismo constructor responsable, ya que frecuentemente se cometen errores de tipo técnico en la construcción de los sistemas de tratamiento. Es difícil mantener una relación estrecha con el constructor; pero se pueden evitar las fallas, previniendo éstas, con el adecuado seguimiento de la construcción, desde su diseño, hasta el arranque u operación de la misma. Si se tiene además, una respuesta por parte de la población para contribuir con recursos y dar mantenimiento permanente a su planta de tratamiento, se tendrá una mejor y operativa infraestructura de tratamiento.

El presente trabajo se realiza con base en la inspección física de 24 sistemas de tratamiento de los conjuntos habitacionales del INFONAVIT, pertenecientes a las Delegaciones de Veracruz, Guerrero, Puebla y Morelos. Tiene como objetivo principal, identificar los factores de tipo técnico, de ingeniería civil, que provocan fallas, así como las causas que las originaron y a la vez, afectan el funcionamiento de los sistemas de tratamiento instalados, con el fin de proponer la rehabilitación de éstos y, al mismo tiempo, llegar a prevenir los errores que pudieran afectar la funcionalidad en futuras instalaciones.

## 2. PROBLEMATICA EN MEXICO

### 2.1 Situación actual

En la actualidad, México enfrenta una disminución acelerada de la disponibilidad de agua en las zonas más pobladas y una creciente contaminación de los cuerpos hídricos susceptibles de servir como fuentes de abastecimiento. El desarrollo acelerado del país, ha propiciado un aumento en la extracción y consumo del vital líquido, lo cual tiene como consecuencia una mayor generación de aguas residuales, las que, al ser descargadas sin tratamiento en los cuerpos receptores, perjudican sus usos legítimos y disminuyen su potencial de aprovechamiento.

Aunque el país cuenta con suficientes volúmenes para satisfacer las demandas de todos los sectores, la distribución geográfica es sumamente adversa para casi la mitad del territorio nacional. El territorio mexicano está dividido en 320 cuencas hidrológicas, con un escurrimiento medio anual de aproximadamente 410,000 millones de m<sup>3</sup>, cifra que aporta el total disponible como recurso renovable. No obstante, la zona norte sólo tiene un escurrimiento de 12,300 millones de m<sup>3</sup>, 3% del global en una área equivalente al 30% del país; y en el sureste hay 205,000 millones de m<sup>3</sup>, es decir, el 50% de la disponibilidad para un 20% del territorio (David Gidi, 1991). En la FIG. 2.1 se muestra la distribución de precipitación media anual en el territorio nacional.

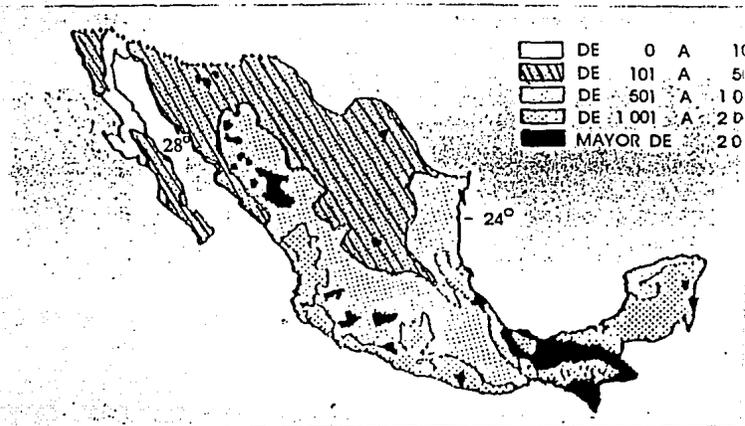


FIGURA 2.1 Precipitación media anual en mm.

Tres son las principales fuentes en la contaminación del agua. El municipio corresponden las descargas de origen doméstico y público; el agua representado por los efluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y ganado mayor y menor, así como por las aguas de retorno de los campos y el industrial, que se manifiesta en las descargas producidas en las actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos en bienes de consumo (David Gidi, 1991).

Para tratar de establecer un marco de referencia del problema de agua en la continuación se exponen algunas cifras oficiales presentadas por SEDE:

- Se han realizado estudios de calidad del agua en 218 cuencas hidrológicas del país, los cuales revelan que solamente en 31 de las cuencas más importantes se genera el 91% de la carga contaminante total. Entre éstas destacan las de Lerma-Chapala, Pánuco, Alto balsas, Blanco, Bravo y San Juan.
- Se estima el caudal de la descarga de aguas residuales de centros urbanos en  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- La industria genera, a nivel nacional, un caudal de aguas residuales de  $83 \text{ m}^3/\text{s}$ , siendo las principales fuentes responsables de generación, la industria azucarera, química, celulosa y papel, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica y de alimentos.
- Un 30% de la población del país (24 millones de habitantes), no cuenta con abastecimiento de agua potable mediante un sistema formal de distribución.
- El 51% de la población (poco más de 40 millones de habitantes), no dispone de servicio de alcantarillado. Este retraso dificulta la labor de saneamiento, debido a la dispersión de las descargas existentes y a la necesidad de realizar considerables inversiones en los sistemas de colección de aguas residuales como requisito previo a la construcción de la infraestructura para el tratamiento de las mismas.
- Existen 361 plantas de tratamiento municipales con una capacidad global instalada de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ; de éstas el 20% opera en forma adecuada, el 35% opera de manera deficiente y el 45% se encuentra fuera de operación (Sancho y Cervera, 1991).
- Se considera que para el año 2,000 se verterán  $207 \text{ m}^3/\text{s}$  de aguas residuales municipales; ello implica un enorme reto para los sistemas de tratamiento

(Legislación Nal. en Mat. de Impacto Ambiental, 1991).

No es fácil establecer las causas que han propiciado el actual panorama. Se ha recurrido para ello, al análisis de la evolución histórica del país, encontrándose como principal causa, la incidencia que ha existido en el centralismo del poder político y económico, por parte de las diferentes estructuras de gobierno que se han implementado (Barragán, 1988).

Bajo este enfoque, el centralismo, sumado al acelerado crecimiento demográfico, dio origen a un desmesurado incremento en aquellas regiones del territorio en donde se han agrupado el poder político y económico. Esta dinámica de crecimiento, es la que se ha señalado como el principal obstáculo de la planeación regional y el ordenamiento urbano.

El régimen actual se ha manifestado en favor de la descentralización. Algunas de las medidas más importantes que ha establecido para lograrla son: la transferencia a los estados de la educación básica y normal, la transferencia de los servicios de salud a la población, el fortalecimiento del municipio y el apoyo al desarrollo de actividades productivas regionales.

Si bien estas acciones pueden llegar a corregir, en el futuro, los efectos del centralismo, no representan soluciones que permitan modificar el panorama actual el problema del agua. Para ello, se formuló el programa "Agua Limpia", que sustenta los siguientes puntos:

- a) Efectuar una intensa movilización con el apoyo de la comunidad, principalmente de los grupos ecologistas, para tener agua limpia en nuestro país.
- b) Definir, con criterios eficaces y realistas, parámetros mínimos de calidad para el agua potable y las aguas residuales.

- c) Instrumentar el cobro de los derechos, por el uso de cuerpos de agua, para la descarga de aguas residuales, para que pague más, quien más contamina.
- d) Resolver con tratamientos avanzados, algunos problemas específicos de calidad del agua que revisten mayor preocupación.
- e) De los 120 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales que se vierten en cuerpos de agua de todo el país, 60 m<sup>3</sup>/s se tratarán mediante lagunas de oxidación, para ser reutilizadas bajo estricta reglamentación en el riego agrícola; los otros 60 m<sup>3</sup>/s restantes, recibirán tratamiento secundario para que posean la calidad adecuada y poder disponer de ellos en cuerpos de agua diversos.
- f) Fortalecer los programas de capacitación, formación de recursos humanos, investigación y transferencia de tecnología.

## **2.2 Normatividad vigente**

La legislación ambiental ha evolucionado hacia la concepción global de las relaciones de interdependencia que guardan los recursos naturales con las actividades de la sociedad. Con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en 1988, se adoptó la premisa de que el crecimiento sostenido sólo puede darse a través de la planeación y el ordenamiento integral de las actividades productivas. Se considera también que la prevención, es el medio más eficaz para preservar el equilibrio ecológico, con la participación activa de la sociedad.

Existen dos Normas Técnicas Ecológicas (NTE) en proceso de cambio a Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que regulan la calidad de las descargas de aguas residuales de tipo doméstico.

La NTE-CCA-031/91, establece los límites máximos permisibles de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y/o alcantarillado urbano o municipal provenientes de un tratamiento previo. En la TABLA 2.1 se señalan los límites máximos permisibles de algunos parámetros contenidos en aguas residuales de tipo doméstico.

**TABLA 2.1 CONDICIONES DE CALIDAD DE LA DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A ALCANTARILLADO.**

PARAMETROS	LIMITES MAX. PERMISIBLES (promedio diario)
SOLIDOS SEDIMENTABLES	5 ml/l
pH	6 - 9
TEMPERATURA	40°C
GRASAS Y ACEITES	70 mg/l
SAAM	30 mg/l

FUENTE: Gaceta Ecológica, 1991

La NTE-CCA-032-91, establece los límites máximos permisibles de los contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola. Esta NTE regula el contenido de metales, los cuales no son característicos del agua residual de tipo doméstico, por lo que podría interpretarse que la Norma faculta el empleo de este tipo de efluentes sin tratar, con fines de riego.

Con apego estricto a estas Normas, las aguas residuales domésticas requieren sólo de un tratamiento primario (ver CAP. 4) para cumplir con las condiciones de descarga señaladas. Sin embargo, cuando las autoridades del Departamento del Distrito Federal, estatales o municipales en el ámbito de su competencia, identifiquen descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en las NTE, causen efectos negativos en los cuerpos receptores, o en el bienestar de la población y en el equilibrio ecológico, fijarán Condiciones Particulares de Descarga (CPD), en las que podrán señalar límites máximos permisibles más estrictos, que los mencionados

en la propia Norma, además de aquellos parámetros que consideren aplicables a la descarga, como pueden ser:

- Materia flotante.
- DBO.
- DQO.
- Sólidos disueltos totales.
- Sólidos suspendidos.
- Nitrógeno.
- Fósforo.
- Coliformes fecales.
- Grasas y aceites.
- Turbiedad.
- Alcalinidad y acidez.

Las CPD ya aplicadas a dos de los conjuntos habitacionales del INFONAVIT (Bosques del Alba II y Tabla Honda, Edo. de Méx., cuyas descargas se dirigen a emisores a cielo abierto), pueden ser generalizadas para el caso de descargas a redes de alcantarillado, emisores o bien para su disposición en riego agrícola. En la TABLA 2.2 se señalan los límites máximos permisibles para esta condición.

**TABLA 2.2 CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A ALCANTARILLADO, EMISORES O RIEGO AGRICOLA \***

PARAMETROS	LIMITES MAX. PERMISIBLES
MATERIA FLOTANTE	NINGUNA
SOLIDOS SEDIMENTABLES	1.0 ml/l
pH	6 - 9
TEMPERATURA	35°C
GRASAS Y ACEITES	35 mg/l
DBO	50 mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	50 mg/l
DQO	125 mg/l
SAAM	10 mg/l
COLIFORMES FECALES	1,000 NMP/100 ml
DOSIS DE CLORO EN LA DESCARGA	2.0 mg/l

\* Tomados de las CPD fijadas a los conjuntos habitacionales Bosques del Alba II y Tabla Honda.

Para minimizar el peligro a la salud que involucra el reuso de las aguas residuales tratadas en actividades que impliquen riesgo de contacto directo, se propone reducir los límites considerados en la TABLA 2.2. En la TABLA 2.3 se presentan los valores propuestos, que pueden servir como guía para establecer los requerimientos de descarga.

**TABLA 2.3 CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA REUSO QUE INVOLUCRE EL RIESGO DE CONTACTO DIRECTO<sup>1</sup>**

PARAMETROS	LIMITES MAX. PERMISIBLES
MATERIA FLOTANTE	NINGUNA
SOLIDOS SEDIMENTABLES	0 ml/l
pH	6.5 - 7.5
TEMPERATURA	35°C
GRASAS Y ACEITES	AUSENCIA
DBO	30 mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	30 mg/l
DQO	75 mg/l
SAAM	10 mg/l
COLIFORMES FECALES	200 NMP/100 ml <sup>2</sup>
DOSIS DE CLORO EN LA DESCARGA	5.0 mg/l

<sup>1</sup> Con base en la factibilidad técnica del sistema de tratamiento secundario (Tchobanoglous y Schroeder, 1985).

<sup>2</sup> Criterios de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89).

Por otro lado, las CPD a cuerpos de agua se definen en función de la capacidad de dilución, autopurificación y los usos del cuerpo receptor. Para el caso de las aguas residuales de tipo doméstico, el interés se centra en que la aportación de nutrientes, no afecte la vida acuática en los cuerpos de agua.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) referentes a la protección de la vida acuática (Diario Oficial de la Federación, 1989), establecen que la concentración de nitrógeno amoniacal y fosfatos dentro del cuerpo de agua, no debe exceder de 0.06 y 0.025 mg/l respectivamente. Por ello, en cada caso, las CPD se definirán en función del caudal o volumen del cuerpo receptor, el volumen de la descarga y de la concentración de nutrientes.

### **3. ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**

#### **3.1 Necesidad del tratamiento**

Por la composición de las aguas residuales, éstas deben tener un tratamiento previo antes de su disposición, ya sea como recarga de las aguas subterráneas, irrigación, vertido a cuerpos de agua superficiales o usos domésticos e industriales.

Para no causar impactos negativos en donde se verterán estas aguas, deben transformarse previamente, de tal forma que no resulten dañinas o peligrosas en el medio donde se les dará la disposición final.

Las aguas residuales contienen materia orgánica, la cual se degrada por la acción de bacterias y microorganismos. Cuando existe oxígeno en abundancia en las aguas residuales, actúan las bacterias aerobias y cuando falta oxígeno, entran en acción las bacterias anaerobias. Esta descomposición va acompañada de malos olores debido a la producción de gases generalmente sulfurados provenientes de los lodos acumulados en el fondo de los sitios que los contienen y de espumas acompañadas de cuerpos flotantes en su superficie.

La naturaleza efectúa la transformación de estas aguas, en formas más estables por medio de la acción de los rayos solares, las bacterias, las algas y otros microorganismos; así como la infiltración, la evaporación y la dilución en aguas de mejor calidad. Esto hace que al pasar el tiempo, las aguas residuales, de acuerdo con el ciclo hidrológico, vuelvan a servir para el consumo de las plantas, de los animales y del hombre.

Actualmente este cambio debe acelerarse por medio de algún sistema que efectúe esta transformación de una manera más rápida, ya que las necesidades de grandes volúmenes de aguas para todo tipo de usos y la contaminación existente, es cada vez más apremiante; además de que en muchos casos se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración en la naturaleza.

### **3.2 Fuentes de las aguas residuales domésticas**

Estas fuentes son básicamente los sistemas de alcantarillado, en los cuales se desaloja el efluente de desperdicio derivado de las casas-habitación, industrias y captación de aguas pluviales.

La cantidad de agua consumida que se vierte en un sistema de alcantarillado es generalmente un poco menor que la cantidad de agua que se proporciona a la comunidad para su abastecimiento.

Esto se debe principalmente a las pérdidas en la distribución, a su uso en riego de jardines, de agua consumida en los procesos industriales, etc.; pero dichas pérdidas suelen ser compensadas ampliamente por las aportaciones de abastecimientos particulares de agua (pozos, norias, etc.) o por la aportación de lluvias y otras adiciones. Es por esto, que es muy usual en un diseño de alcantarillado, considerar la dotación de agua igual a la aportación, cuando se está desarrollando un sistema combinado.

### **3.3 Composición**

La razón básica para conocer cuáles son las características de las aguas residuales, es para determinar el tratamiento adecuado y permitir la aplicación de los métodos más efectivos. Las aguas residuales domésticas no son un producto estandarizado,

pero sus variaciones en características están usualmente dentro de límites razonables. Las aguas residuales industriales difieren de las aguas residuales domésticas, en que las primeras presentan características distintas, en cuanto a carga orgánica, no solo de acuerdo al tipo de proceso industrial, sino también para industrias que procesan el mismo producto.

Las aguas residuales domésticas contienen una pequeña cantidad de sólidos en un volumen proporcionalmente enorme de agua. En un agua residual doméstica ordinaria, puede esperarse que una tonelada o más de agua lleve 450 g de sólidos; de los cuales la mitad estará disuelta, una cuarta parte se sedimentará y la restante estará en suspensión.

Las aguas residuales ordinarias frescas tienen un color gris, y un aspecto parecido al agua de jabón de lavar platos. Contienen partículas sólidas en suspensión que son visibles a simple vista.

Los sólidos de las aguas residuales se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos. Los sólidos orgánicos, que constituyen generalmente del 40 al 70% de los sólidos totales, en general son de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta y organismos o tejidos vegetales. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinados algunos con nitrógeno, azufre o fósforo. Están sujetas a degradación o descomposición por la actividad bacteriana y otros organismos vivos.

Los sólidos inorgánicos son generalmente sustancias inertes y no están sujetas a la degradación. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava, cieno y sales minerales del abastecimiento de agua que produce su dureza y contenido mineral.

El olor de las aguas residuales frescas, es ligero y no necesariamente desagradable; en esta etapa se puede encontrar todavía oxígeno disuelto. Después de un cierto tiempo, las aguas entran en descomposición y desprenden olores desagradables como el sulfhídrico, metano y otros gases; en esta etapa que se le conoce de septicidad, no existe oxígeno disuelto.

### **3.4 Evacuación**

La recolección de los residuos líquidos de una comunidad, crea el problema de la evacuación, que es necesaria para proteger la salud y el bienestar social. Para esto es necesario darle a las aguas una salida que consiste en la construcción de redes de alcantarillado o canales a cielo abierto, para posteriormente, estabilizarlas por medio de algún tratamiento y así descargarlas a algún cuerpo de agua (río, lago, océano, etc.) o campo dispuesto para este fin.

Si los sitios donde se descargan las aguas residuales o la naturaleza del terreno donde se vierten dichas aguas, no son adecuados, puede crearse un serio problema ecológico. El objetivo de los métodos de tratamiento de aguas residuales empleados hasta hoy, ha sido transformarlas en un residuo líquido que pueda disponerse sin peligro y, en otros casos, evitar la contaminación de fuentes de suministro de agua potable.

### **3.5 Disposición**

Es muy importante la promoción de la limpieza y eliminación de este tipo de aguas, hasta un área alejada del centro de actividad urbana. Sólo con estas prácticas puede mantenerse un medio ambiente en condiciones aceptables e inocuas. Es necesario disponer de procedimientos regulados adecuadamente para eliminar las aguas

residuales, a fin de proteger la salud de la población y mantener la limpieza del entorno urbano. Todas las aguas residuales tienen que ser evacuadas o dispuestas. Algunas están sujetas a diferentes tipos de tratamiento antes de su disposición, mientras que otras no reciben tratamiento antes de su evacuación.

### *3.5.1 Disposición por dilución*

Consiste en verter las aguas residuales brutas o tratadas a cuerpos superficiales de agua, en una cantidad con magnitud tal, que no se produzcan alteraciones o desequilibrios en el medio acuático o que evite daños a la salud pública. Las condiciones respecto a las características de los líquidos residuales que pueden arrojarse a las corrientes naturales no son uniformes, sin embargo, las aguas residuales deben recibir por lo menos un tratamiento primario (ver CAP. 4).

El grado de contaminación de un cuerpo de agua depende de su capacidad de dilución, o sea, del volumen vertido de las aguas residuales y de su composición, en comparación con el volumen de agua receptor con que se mezclan.

Entre las condiciones más favorables para la evacuación por dilución figuran: la existencia de corrientes caudalosas que eviten la sedimentación y conduzcan las aguas lejos de las poblaciones, antes que se inicie la putrefacción; así como también corrientes que produzcan grandes turbulencias o caídas en su trayecto, de tal forma de garantizar el oxígeno disuelto.

### *3.5.2 Disposición como recarga de acuíferos*

La recarga por infiltración natural se puede llevar a cabo mediante depósitos de repartición, que permitan a las aguas residuales tratadas se infiltren, o bien, mediante pozos de recarga artificial se pueden enviar hasta los mantos freáticos. En cualquier

caso, se debe dar a las aguas residuales un alto nivel de tratamiento para evitar la contaminación potencial o evitar la obstrucción del suelo en el que se está infiltrando.

Debido a que no existe una regulación específica para las descargas de aguas residuales en los acuíferos, la calidad de los efluentes tratados, se deberá acercar a los Criterios de Calidad del Agua para abastecimiento de agua potable; de esta manera se puede prevenir el riesgo de contaminación potencial en los mantos freáticos y posibles fuentes de abastecimiento de agua.

### *3.5.3 Disposición en terreno*

La inundación con aguas residuales consiste en derramarlas sobre la superficie del terreno, desde la cual se evapora una parte y la otra se infiltra, para ser evacuada posteriormente por zanjas superficiales. También las aguas residuales de tipo doméstico pueden ser utilizadas para riego de cultivos, en cuya producción de cosechas solo dan beneficios a plantaciones en las cuales su fruto no tiene contacto directo con dichas aguas; sin embargo, esto siempre implica un riesgo para el consumo humano, puesto que es latente la posibilidad de que las aguas residuales contengan organismos patógenos.

El suelo más adecuado para la inundación es el suelo poroso arenoso, con suficiente pendiente y buen sistema de subdrenaje para el desalojo de las aguas infiltradas. Los suelos arcillosos impermeables o compactos, son inadecuados, a menos que se quiera evaporar la totalidad de las aguas residuales. Es necesario señalar, que siempre se debe tener especial cuidado en no poner en riesgo la calidad de los acuíferos.

## **4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso mediante el cual se podrá obtener un efluente, en una forma tal, que no cause daños al medio ambiente al ser dispuesto. Una vez completado todo el proceso de tratamiento, es aun necesario disponer o tratar, en forma adecuada, los subproductos generados (lodos).

El desarrollo de procesos para el tratamiento de las aguas residuales surgió como una respuesta a las demandas sociales en lo referente a la salud pública y a la contaminación ambiental. En este aspecto, existen varios procesos capaces de tratar las aguas residuales domésticas; sin embargo, su aplicación está limitada básicamente al costo de inversión y operación.

### **4.1 Clasificación de los procesos**

Los contaminantes del agua pueden ser removidos por operaciones físicas, químicas o biológicas. Generalmente, las plantas de tratamiento hacen combinación de las tres operaciones anteriores. A continuación se describen las características de cada una de ellas.

Los procesos físicos son métodos de tratamiento que involucran la interacción de fuerzas físicas tales como la gravedad, las diferencias de cargas y la concentración. Ejemplos típicos de éstos son el cribado, la floculación, la sedimentación, la flotación, la filtración y la transferencia de gases.

Los procesos químicos son métodos de tratamiento para llevar a cabo la remoción o transformación de contaminantes; se adicionan reactivos químicos o se efectúan reacciones químicas en donde no intervienen los microorganismos. Ejemplos son la precipitación, adsorción y la desinfección.

En los procesos biológicos se involucra la actividad microbiana para la remoción o transformación de contaminantes. Los microorganismos son utilizados para la remoción de la materia biodegradable en el agua residual. Básicamente los contaminantes presentes en este tipo de agua, son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos.

Los procesos biológicos son divididos en dos grupos: los aerobios y los anaerobios, de los cuales se describirán las características más importantes.

En los procesos aerobios la materia orgánica (DBO o DQO) es degradada por los microorganismos con la ayuda de la adición de oxígeno, teniendo como producto final  $H_2O + CO_2$  y una gran parte de biomasa (lodos), siendo esto último un problema adicional, por la necesidad de tratarla o disponer de ella adecuadamente.

Por su parte los procesos anaerobios no necesitan el oxígeno para la degradación de la materia orgánica, para lo cual intervienen 3 grupos de bacterias (fermentativas, acetogénicas y metanogénicas), las cuales transforman la materia contaminante a metano y  $CO_2$ . Cabe resaltar que este tipo de procesos no tienen producción importante de lodos. En la FIG. 4.1 se muestra el esquema del flujo de energía de los procesos biológicos.

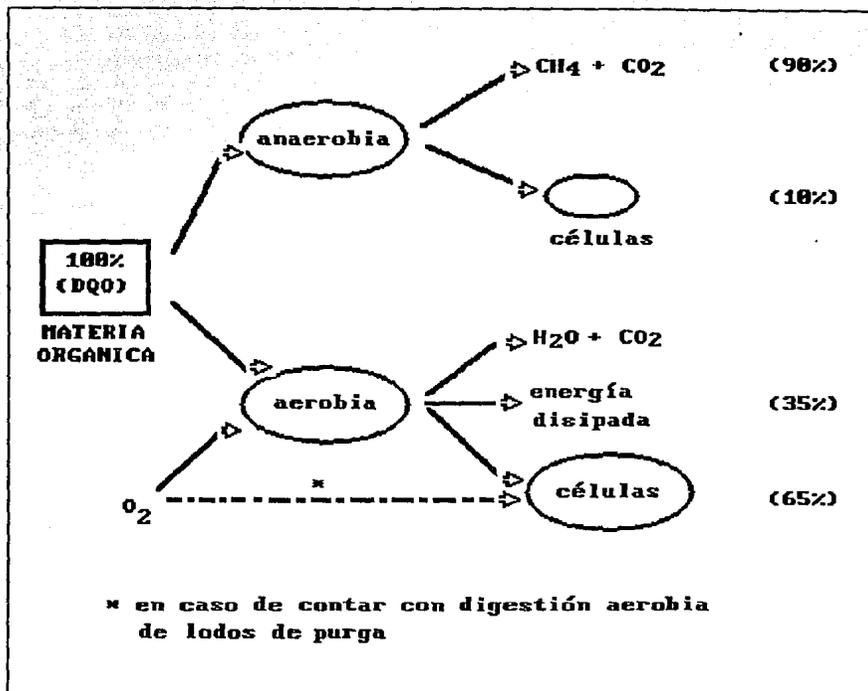


FIG. 4.1 Flujo de energía en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (Noyola, 1990)

#### 4.2 Definición de los niveles de tratamiento

En nivel de tratamiento requerido para un agua residual dependerá del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada. A continuación se describen brevemente los distintos niveles de tratamiento y se presentan resumidos en la TABLA 4.1.

TABLA 4.1 NIVELES DE TRATAMIENTO CON BASE EN EL GRADO DE CALIDAD DESEADO

TIPOS DE TRATAMIENTO	OBJETIVO
Preliminar	Protección del equipo de bombeo. Eliminación de sólidos de gran tamaño, inorgánicos pesados, grasas y aceites.
Primario	Eliminación de sólidos suspendidos.
Secundario	Eliminación de sólidos orgánicos en suspensión, coloidales o disueltos.
Terciario o avanzado	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Eliminación total de sólidos suspendidos. Obtener un efluente con fines de reuso.
De lodos	Tratamiento de sólidos generados por diferentes procesos y prepararlos o acondicionarlos para su adecuada disposición.

#### 4.2.1 Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar de un agua residual se refiere a la eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares. Ejemplo de ello es la eliminación de componentes de gran volumen como troncos, piedras, animales muertos, plásticos o problemáticos como arenas, grasas y aceites. El tratamiento se efectúa por medio de rejillas o cribas, desarenadores o desgrasadores. En ciertas ocasiones se emplean trituradores para el control de desechos de gran tamaño.

#### *4.2.2 Tratamiento primario*

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos inorgánicos y materia orgánica suspendida pesada es removida del agua residual utilizando la gravedad como principio. Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es considerada como la antesala para el tratamiento secundario.

#### *4.2.3 Tratamiento secundario*

En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficiencia de remoción.

#### *4.2.4 Tratamiento terciario o avanzado*

Esta etapa se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario, con el fin de eliminar compuestos tales como los nutrientes, materia orgánica no biodegradable y organismos patógenos. Ejemplos de los procesos empleados son la coagulación química, floculación y sedimentación, filtración, adsorción por carbón activado y desinfección. También son utilizados, aunque en menor grado, procesos como la ósmosis inversa, intercambio iónico, ozonación y luz ultravioleta.

#### *4.2.5 Tratamiento y disposición del lodo*

La generación de lodos en el tratamiento biológico es inevitable y es un factor muy importante que debe ser considerado para una buena selección del proceso de tratamiento. En algunos casos el tratamiento y disposición de lodo generado por una planta, llega a requerir un elevado porcentaje de los costos de inversión y operación de la misma.

Existen dos tipos de lodo biológico, uno generado por la digestión aerobia y el otro por la anaerobia. Las diferencias esenciales entre el lodo anaerobio y el aerobio, es que el primero se genera en volúmenes menores y lo suficientemente estabilizado (no requiere tratamiento) para ser utilizado como abono y puede tener inclusive un valor comercial.

Algunos procesos para el tratamiento del lodo aerobio son la digestión anaerobia o aerobia, el composteo mezclado con residuos sólidos orgánicos, acondicionamiento químico, incineración o desecharlo en lugares especialmente acondicionados para este fin, previa estabilización.

#### **4.3 Descripción de los procesos de tratamiento**

##### **4.3.1 Procesos físicos**

###### **4.3.1.1 Cribado**

La primera etapa en el tratamiento del agua residual es la remoción de sólidos suspendidos. El procedimiento usual es utilizar rejillas o mallas para retener los sólidos más grandes. El tamaño y la separación entre barras de las rejillas es función del tamaño de sólidos contenidos en el agua residual. Las rejillas pueden ser limpiadas mecánica o manualmente; en el caso de bajos caudales de agua residual, no es necesaria la limpieza mecánica. En la TABLA 4.2 se presentan las características generales que debe poseer este sistema. En la FIG. 4.2 se muestra un esquema del sistema de rejillas típico.

TABLA 4.2 PARAMETROS DE DISEÑO DE REJILLAS

Parámetro	Rejillas con limpieza manual
Tamaño de barra	
ancho (mm)	5 a 15
largo (mm)	25 a 38
Claro entre barras (mm)	25 a 50
Pendiente (grados)	30 a 45
Velocidad (m/s)	0.30 a 0.60
Pérdida de carga (mm)	152 a 250

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991

#### 4.3.1.2 Desarenado

Los desarenadores tratan el agua residual, proveniente del cribado, que contiene material que puede ser clasificado como arena. Esta se caracteriza por ser de origen inorgánico y tener una velocidad de sedimentación mayor que la correspondiente a la materia orgánica biodegradable. Los materiales que caen en esta categoría son partículas de arena, grava, así como semillas o algún otro material orgánico denso.

La arena eliminada del agua residual, protege al equipo mecánico de la abrasión y el desgaste, reduce la obstrucción de los conductos causada por la deposición de partículas de arena en las tuberías o canales y reduce la acumulación de material inerte en los tanques de proceso y en el lodo digerido.

#### 4.3.1.3 Sedimentadores

La sedimentación es la separación del agua, por medio de la fuerza de gravedad, de todos aquellos sólidos que son más pesados que ella. La elección de un sedimentador estará determinada por los requerimientos de área y costo. Los sedimentadores pueden ser rectangulares o circulares. Los primeros, tienen la facultad de compartir los muros con el reactor biológico u otro equipo, así como permitir una ubicación más

fácil dentro de la planta. Los circulares ocupan más espacio y obra civil. Sin embargo, estos dos tipos de sedimentadores, generalmente requieren equipo electromecánico para la remoción de partículas sedimentadas como son las rastras. En la TABLA 4.3 se muestran las características generales de este tipo de sedimentadores.

**TABLA 4.3 PARAMETROS DE DISEÑO PARA SEDIMENTADORES RECTANGULARES Y CIRCULARES EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO**

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Típico
Rectangular:		
profundidad (m)	3 a 4.5	3.7
largo (m)	15 a 91	24 a 40
ancho (m)	3 a 24	5 a 10
velocidad de rastra (m/min)	0.6 a 1.2	0.9
Circular:		
profundidad (m)	3 a 4.5	3.7
diámetro (m)	3 a 60	12 a 45
pendiente del fondo (mm/m)	62 a 166	83
velocidad de rastra (rpm)	0.02 a 0.05	0.03

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991

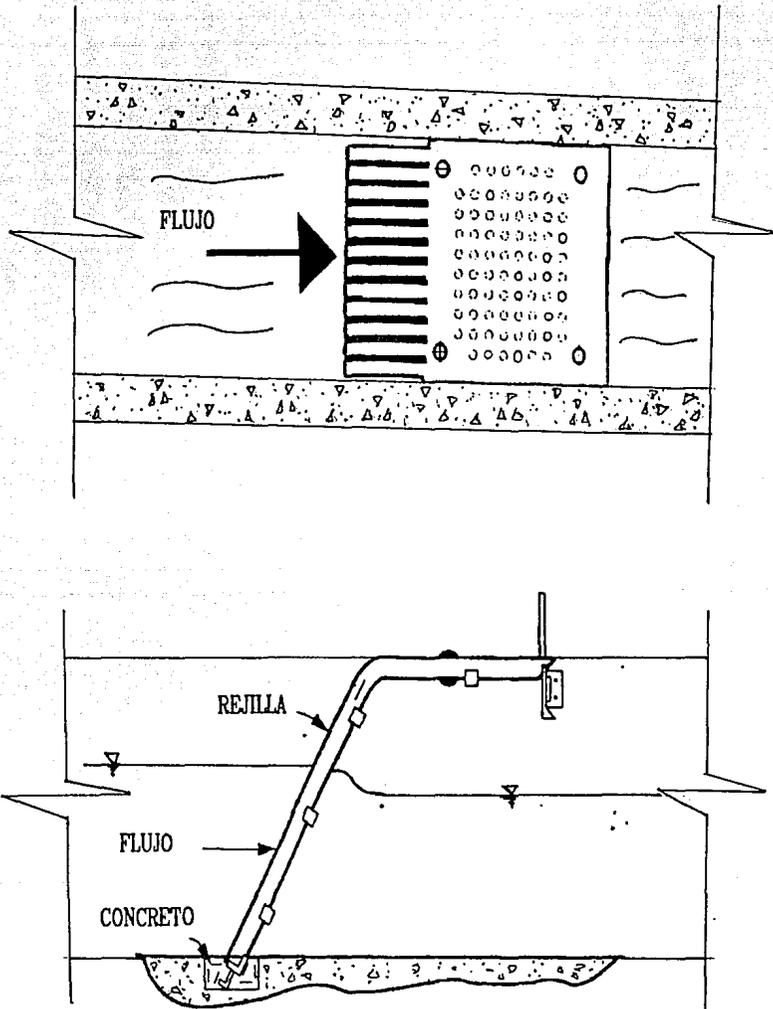


FIG. 4.2 Vista de planta y de perfil de una unidad de rejillas

### 4.3.2 *Procesos biológicos*

#### 4.3.2.1 Lagunas de estabilización

En estos sistemas, la simbiosis entre bacterias y algas se aprovecha para degradar la materia orgánica; las primeras consumen materia orgánica y oxígeno produciendo  $\text{CO}_2$ , mientras que las segundas consumen  $\text{CO}_2$  y producen oxígeno por medio de la fotosíntesis, lo que mantiene concentraciones de OD adecuadas en la zona superior de la laguna. Un sistema de tratamiento basado en lagunas, generalmente se compone de dos o tres estanques conectados en serie.

La primera laguna es del tipo facultativa (zona aerobia en la parte superior y zona anaerobia en la parte inferior) con una profundidad entre 1 y 1.5 m; la segunda es de tipo de oxidación (no hay zonas anaerobias) con una profundidad de 1 m. Si se instala una tercer laguna, será con el objeto de dar un pulimento al agua tratada y abatir la concentración de organismos coliformes. Como criterios generales de diseño pueden considerarse de 6 a 8 m<sup>2</sup> de terreno por habitante, con tiempos de retención hidráulicos entre 40 y 60 días. Con esto, se logra alcanzar una eficiencia en la remoción de DBO soluble del orden de 95% y en coliformes superior al 99%.

Las lagunas aireadas se distinguen de las facultativas principalmente, porque se les suministra oxígeno mediante mecanismos de aireación artificial, generalmente con aireadores flotantes. En esta modalidad del proceso, dependiendo de la profundidad y de la potencia de agitación instalada, se tendrán zonas aerobias y anaerobias. Su profundidad varía entre 2 y 5 m y los requerimientos mínimos para lograr la agitación de una manera aceptable, son de 0.008 HP/m<sup>3</sup> de reactor. Para este tipo de lagunas se puede considerar un requerimiento de 2 a 3 m<sup>3</sup> de laguna por habitante con tiempos de retención de 20 días. Los lodos que se generan en lagunas deben ser evacuados en intervalos de tiempo de 1 a 3 años y su grado de estabilización permite la disposición en campo o en relleno sanitario.

#### 4.3.2.2 Lodos activados

Este proceso ha sido y es uno de los más utilizados para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico. Existen alrededor de 10 variantes de lodos activados; sin embargo, se describirán únicamente los sistemas de flujo pistón, totalmente mezclado y el de aireación extendida.

En los procesos de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica, de la cual toman los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Cuando los microorganismos crecen y son mezclados con la agitación del aire, éstos tienden a agruparse en flóculos para formar una masa activa de organismos denominada lodo activado; y a la mezcla de éste con el agua residual se le llama licor mezclado. El licor mezclado fluye del tanque de aireación a un clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta. Una porción del lodo sedimentado deber ser retornado al tanque de aireación para mantener una apropiada relación sustrato-microorganismo (F/M) y permitir así, una adecuada degradación de la materia orgánica. Debido a que en el tanque de aireación se produce lodo activado por la reproducción de los microorganismos, una cierta cantidad de éstos debe ser desechada del sistema con el objeto de mantener constante su concentración en el tanque de aireación; esto es lo que se conoce como purgado de lodos. Por otra parte, un requerimiento básico del sistema de lodos activados, es su adecuada aireación que puede ser realizada mediante difusores o aireadores mecánicos.

En el reactor con flujo pistón la concentración de materia orgánica es función de la longitud del tanque. Este tipo de reactor se puede concebir como una sucesión infinita de tanques totalmente mezclados con volumen diferencial que, teóricamente, le confieren una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

En el reactor completamente mezclado las partículas que entran al tanque de aireación son inmediatamente difundidas en todo el volumen del éste, lográndose así

una homogeneidad completa. La concentración de contaminantes en el reactor es, idealmente, la misma en todo su volumen.

El reactor con aireación extendida es similar a uno completamente mezclado, excepto en el mayor tiempo de retención hidráulica y celular, que permite una predigestión del lodo por medio de la respiración endógena. Las características de diseño de estos reactores, son presentadas en la TABLA 4.4.

**TABLA 4.4 CRITERIOS DE DISEÑO PARA ALGUNOS TIPOS DE LODOS ACTIVADOS**

Proceso →	Flujo pistón	Completamente mezclado	Aireación extendida
Tiempo de retención celular $t_c, d$	5 a 15	5 a 15	20 a 30
F/M $kg.DBO_5/kg.SSV.d$	0.2 a 0.4	0.2 a 0.6	0.05 a 0.15
Carga volumétrica $kg.DBO_5/m^3.d$	0.32 a 0.64	0.8 a 1.92	0.16 a 0.4
SST en el licor mezclado, mg/l	1200 a 3000	2500 a 6500	1500 a 5000
Tiempo de retención hidráulica, h.	4 a 8	3 a 5	18 a 32
Relación de recirculación de lodos, $Q_r/Q$	0.25 a 0.75	0.25 a 1.0	0.5 a 1.5

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991

#### 4.3.2.3 Filtros percoladores

En este sistema no se efectúa ninguna acción coladora ni filtrante, por lo que el término filtro, no está correctamente empleado; sin embargo, el tiempo y el uso han generalizado la aplicación de dicho término. Un nombre más apropiado para este sistema, podría ser el de lechos de oxidación biológica o reactor biológico empacado. En realidad éste es un dispositivo que permite poner en contacto a las aguas residuales con cultivos biológicos adheridos a un empaque, lo suficientemente espaciado para que circule el aire. El material de empaque debe, idealmente, contar con una alta relación área/volumen, ser durable y de bajo costo.

Los filtros percoladores se clasifican en función de la carga orgánica alimentada en, alta, media y de baja tasa. Con los sistemas de baja tasa se obtienen las mejores eficiencias en la remoción de DBO (90 al 95%) y un efluente nitrificado. Los filtros de media y alta tasa tienen eficiencias del 85 al 90% y su efluente es parcialmente nitrificado; además, en estos sistemas se requiere de la recirculación del efluente, lo que significa un gasto energético adicional. Como aproximación, se puede fijar un volumen de reactor de  $0.2 \text{ m}^3$  /hab. en los filtros de baja tasa y de  $0.08$  a  $0.1 \text{ m}^3$  /hab. para los de media y alta tasa.

#### 4.3.2.4 Fosa séptica

La fosa séptica puede considerarse como un digestor convencional a escala muy reducida. Dado que su principal función se limita a la hidrólisis de la materia orgánica en suspensión; para lograr una buena eficiencia, es necesario que la fosa evacúe en un sistema de zanjas de absorción, las cuales se encargarán de realizar la estabilización de la materia orgánica. Los tiempos de retención hidráulica en estos dispositivos varían entre 4 y 10 días. En la FIG. 4.3 se muestra un esquema de éste dispositivo de tratamiento.

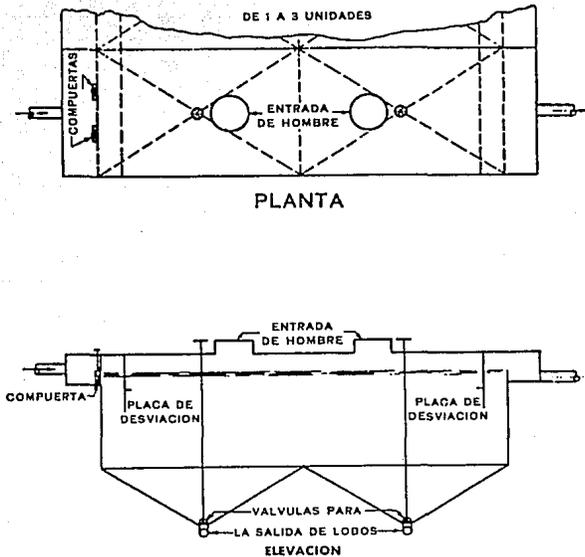


FIG. 4.3 Vista en planta y perfil de una fosa séptica

#### 4.3.2.5 Tanque Imhoff

Se diseña para retirar de las aguas residuales, los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables; por ello, el diseño de las unidades, sólo se basa en la reducción de la velocidad de flujo hasta alcanzar valores inferiores a 1 cm/s en un tiempo de retención hidráulica de 1.5 a 2.5 h. Las eficiencias típicas de remoción que se obtienen con estos sistemas, son de un 60% de sólidos suspendidos (SS) y de un 30% en la DBO.

En estas unidades de tratamiento, se considera la función adicional de descomposición de una parte de los sólidos orgánicos sedimentados, por lo que en su diseño se integra un compartimiento en donde se efectúa la biodegradación de los lodos acumulados. En la FIG. 4.4 se muestra la sección transversal de un tanque Imhoff.

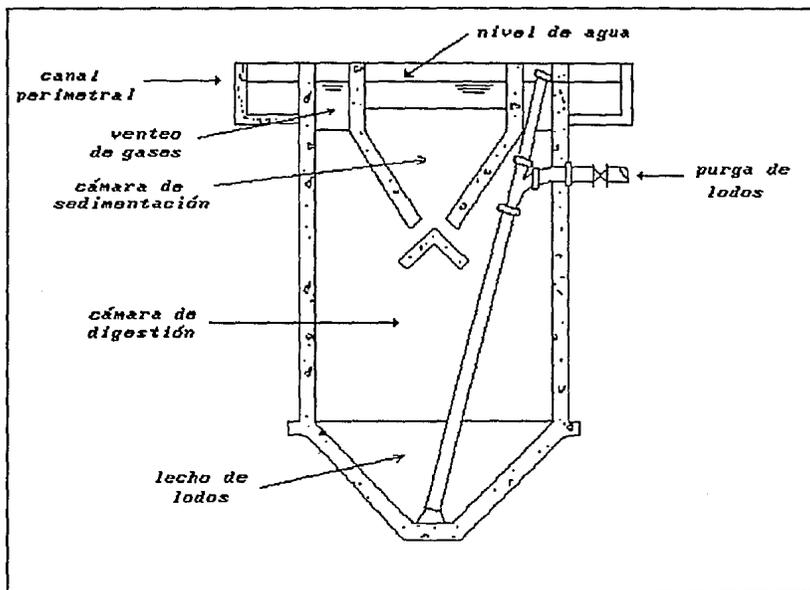


FIG. 4.4 Sección transversal de un tanque Imhoff

#### 4.3.2.6 Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB)

El reactor anaerobio de lecho de lodos UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), pertenece a la llamada "segunda generación" y es por tanto un reactor anaerobio avanzado. Su particularidad radica en el hecho de retener dentro del mismo, los microorganismos en forma de granos o flocúlos, lo que aumenta en gran medida el tiempo de retención celular (TRC). Con esto es posible operar el sistema con reducidos tiempos de retención hidráulicos (TRH) y con volúmenes de reactor limitados, conservando buenas eficiencias en la remoción de materia orgánica. Por otra parte, se obtiene una mayor estabilidad en su operación, un cierto grado de resistencia a productos tóxicos, a variaciones de carga orgánica en el influente y a periodos sin alimentación. Lo anterior, lleva a una reducción en costos, ya que no se requiere aireación y se producen tan solo alrededor de 20 a 25% (para agua residual doméstica) de los lodos de desecho (ya estabilizado) generados por vía aerobia.

El reactor UASB al tener flujo ascendente, permite una selección de microorganismos y favorece la formación de un lodo con buenas propiedades de floculación y sedimentación; esto da como resultado una cama de lodos en la parte inferior del reactor. A este fenómeno se le conoce como *granulación*. En el reactor UASB se procura eliminar las necesidades de agitación mecánica, la formación de zonas muertas y cortos circuitos hidráulicos mediante una adecuada distribución de las entradas de agua en la base del reactor. Por otro lado, posee en la parte superior un colector de gas que asegura una buena separación sólido-líquido-gas.

Con un reactor UASB alimentado con agua residual doméstica típica se pueden lograr eficiencias de remoción en DQO del orden de 70 a 80%. En algunos casos, el contenido de materia orgánica aun presente en el agua tratada, puede ser inadecuado (dependiendo de su uso) para su disposición final. Sin embargo, los bajos costos del tratamiento anaerobio permiten incorporar un postratamiento aerobio que realizaría el pulimento, conservando la ventaja económica sobre un proceso totalmente aerobio,

particularmente en el caso de DQO's superiores a 5,000 mg/l. En la FIG. 4.5 se muestra un esquema de este proceso.

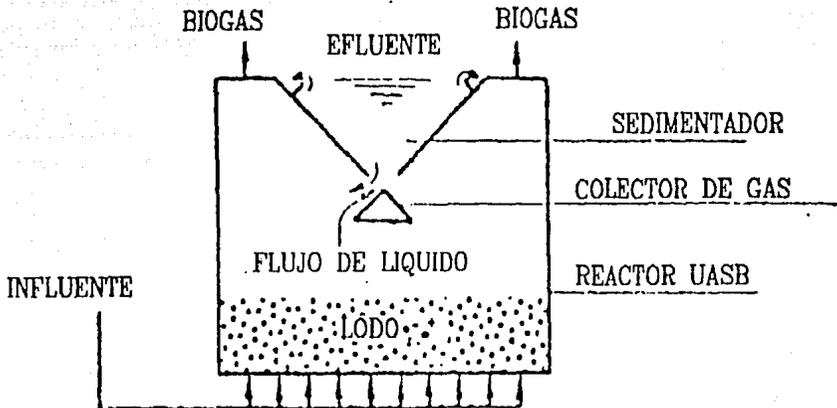


FIG. 4.5 Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente

### 4.3.3 Proceso químico de cloración hasta punto de quiebre

La cloración con cloro gaseoso o hipoclorito, oxida el amonio para formar cloraminas y finalmente nitrógeno molecular.

El punto de ruptura o quiebre se encuentra al lograr la neutralización de amonio y se tiene un incremento en la concentración de cloro libre. En la FIG. 4.6 se muestra gráficamente este tipo de cloración.

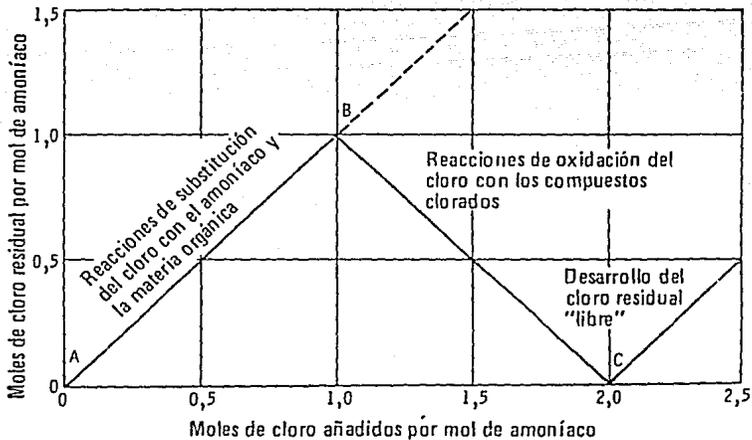


FIG. 4.6 Cloración hasta punto de quiebre (Weber, 1979)

Las desventajas que presenta esta técnica son, el incremento de los sólidos suspendidos al reaccionar con el amonio (6.2 veces por unidad de amonio consumida) y la producción de sustancias parcialmente cancerígenas.

#### *4.3.4 Tratamiento de lodos*

Es necesario tratar los lodos, dado que es un subproducto del tratamiento y en ellos se concentra la materia contaminante. La estabilización del lodo se considera importante, ya que de esta manera, se puede disponer de él de una forma más fácil (ver apart. 4.2.5).

##### *4.3.4.1 Digestión anaerobia*

Una digestión anaerobia de lodos de purga, es realizada en un tanque donde las principales variables de operación y diseño son la temperatura, el tiempo de retención celular y la carga orgánica.

Un reactor operado a temperaturas entre 30 y 38°C, se dice que lo hace en una forma mesofílica y uno operado en un intervalo de temperatura comprendido entre 50 y 60°C, se dice que opera termofílicamente.

Los reactores deben tener agitación; por lo que se puede pensar en la utilización del biogás generado o de lo contrario recurrir a un equipo electromecánico.

En la TABLA 4.5 se presentan los valores recomendados de tiempo de retención celular en función de la temperatura para ser aplicados en el diseño.

TABLA 4.5 TIEMPOS DE RETENCION CELULAR RECOMENDADOS PARA DISEÑO.

Temperatura de operación en °C	Tiempo de retención celular $\theta_c$ en días
18	28
24	20
30	14
35	10
40	10

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991

Otro procedimiento para el diseño de este tipo de digestores, se basa en la carga de sólidos suspendidos. La carga de sólidos recomendada fluctúa entre 0.5 a 1.6 kg/m<sup>3</sup>.d de sólidos volátiles en digestores convencionales. En el caso de los de alta tasa, la carga recomendada es de 1.6 a 4.8 kg/m<sup>3</sup>.d de sólidos volátiles con tiempos de retención hidráulica de 10 a 20 días.

El grado de estabilización obtenido en estos digestores se mide con el porcentaje de reducción de los sólidos volátiles.

La estabilización de los lodos de purga de los sistemas aerobios por vía anaerobia, produce material que puede ser utilizado como fertilizante o mejorador de suelos. En la TABLA 4.6 se muestra una comparación del contenido de nutrientes de los fertilizantes típicos y de los lodos estabilizados anaeróbicamente.

TABLA 4.6 POTENCIAL DEL LODO COMO FERTILIZANTE.

Nutrientes %	Fertilizante	Lodo anaerobio
Nitrógeno	5	3.3
Fósforo	10	2.3
Potasio	10	0.3

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991

#### 4.3.4.2 Digestión aerobia

La digestión aerobia es otra alternativa del tratamiento de lodos. Su fundamento, es una aireación prolongada para reducir la fracción volátil de los sólidos hasta lograr un lodo prácticamente inerte. La reducción de la fracción volátil es aproximadamente igual a la de la digestión anaerobia (70 a 80%), siendo el resto componente inorgánico. Los parámetros que se toman en cuenta para diseñar este proceso son:

- Tiempo de retención.
- Carga de lodos.
- Oxígeno requerido.

El tiempo de retención, experimentalmente, se ha definido entre 10 y 20 días, que es el tiempo necesario para reducir el 40% de los sólidos volátiles que hay en el lodo a una temperatura media de 20°C. En función de la temperatura, la reducción de la fracción volátil puede aumentar hasta en un 70%.

El cálculo del oxígeno requerido para el proceso, se realiza con base en las reacciones químicas que constituyen el fundamento de la digestión aerobia.

La digestión aerobia puede hacerse, al igual que la anaerobia, en una sola etapa o en varias. Normalmente, los digestores funcionan en serie por aireación prolongada y en la modalidad de respiración endógena.

#### 4.3.4.3 Estabilización con cal

En el proceso de estabilización con cal, ésta es añadida al lodo para alcanzar un pH superior a 12, lo que provoca condiciones lo suficientemente básicas para evitar el desarrollo de microorganismos. Debido a lo anterior, se eliminan los malos olores, se reducen los organismos patógenos y se disminuye o elimina el potencial de putrefacción del lodo.

Existen dos tipos de tratamiento con cal, cuando ésta se mezcla con el lodo seco y cuando éste no lo está. En el primer caso se requiere eliminar el agua del lodo, lo cual encarece el proceso, pero se necesita menos cal que en el segundo caso para su estabilización. En la TABLA 4.7 se presentan las dosis típicas de cal para estabilizar el lodo con agua.

TABLA 4.7 DOSIS TÍPICAS DE CAL PARA ESTABILIZAR LODO HUMEDO.

Concepto	Concentración de sólidos (%)		Dosis de cal g Ca(OH) <sub>2</sub> /kg de sólido seco	
	Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio
Primario	3 - 6	4.3	120 - 340	240
Desecho activado	1 - 1.5	1.3	420 - 860	600
Lodos ya tratados aeróbicamente	6 - 7	6.5	280 - 500	380
Lodos de fosa séptica	1 - 4.5	2.7	180-1020	400

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1991

Dado que la estabilización con cal no destruye la materia orgánica necesaria para el crecimiento bacteriano, el lodo debe evacuarse antes de que el pH sufra una disminución importante, en cuyo caso puede activarse la reproducción bacteriana y comenzar la putrefacción.

## **5. ASPECTOS DE INGENIERIA CIVIL A SER CONSIDERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO**

En toda obra de infraestructura, se requiere un proceso de maduración que consume tiempo e inversión para realizar la planeación, estudios de detalle y complementarios, el proyecto ejecutivo, la obtención de financiamiento, el establecimiento de convenios para cubrir la operación y mantenimiento, la construcción y equipamiento, la prueba y adecuación del sistema y finalmente, la puesta en marcha.

Por ser un proceso dinámico, con retroalimentación constante, durante la realización del proyecto ejecutivo se modificará parte del proyecto original. Para tratar el agua no existen proyectos tipo, ya que las características hidráulicas y de los efluentes, la calidad requerida del agua tratada, las etapas de tratamiento seleccionadas, el tipo de subsuelo, los procedimientos constructivos y el costo que los beneficiarios están dispuestos a cubrir en inversión directa y operación, al combinarse, dan como resultado una solución única.

Entre los estudios básicos que se requieren destacan: el gasto mínimo y medio por tratar durante la vida útil de la obra, la caracterización del agua residual con sus variaciones estacionales y, los estudios preliminares topográficos y del subsuelo.

Bajo las actuales condiciones del país, no debería existir tal volumen de inversión improductiva en infraestructura de tratamiento (CAP. 2), por lo que sería ideal proporcionar una guía que facilite las labores de los planificadores, diseñadores, constructores y en general, al personal técnico que interviene en el proyecto, construcción y operación de las plantas de tratamiento.

Por tal motivo, se han tratado de establecer las variables más importantes que deben ser consideradas en los sistemas de tratamiento, para que con base en ellas, se puedan construir plantas de tratamiento funcionales y así evitar vicios y errores en la concepción integral de la obra.

Las variables que afectan el funcionamiento de las estructuras de una planta de tratamiento son:

- Topografía del terreno.
- Condiciones geotécnicas.
- Cimentación.
- Impermeabilización de las estructuras.
- Calidad de los materiales.
- Procedimientos constructivos.
- Sistemas de conexión.
- Operación y mantenimiento.

Si estas variables no son tomadas en cuenta en forma adecuada, pueden afectar la operación de las instalaciones, teniendo como consecuencia los siguientes efectos:

- Variación de cargas y gradientes hidráulicos.
- Hundimiento general o diferencial de las estructuras.
- Fugas y filtraciones en tanques.
- Desintegración del concreto y corrosión del acero.
- Ruptura de tuberías y de instalaciones de acceso a los procesos.

## 5.1 Topografía del terreno

Es frecuente que la ubicación de una planta de tratamiento sea en antiguas llanuras de inundación o próxima a cauces; por lo que la topografía, en algunos casos, será casi horizontal o bien cercana a taludes. Esta última condición puede afectar a las estructuras aledañas a los taludes, produciendo desnivelaciones, o en casos extremos, la falla del talud; por lo que es aconsejable ubicar los tanques de proceso a una distancia razonable de los muros de éstos, del orden de dos veces la altura del talud si se tiene disponibilidad de terreno (FIG. 5.1).

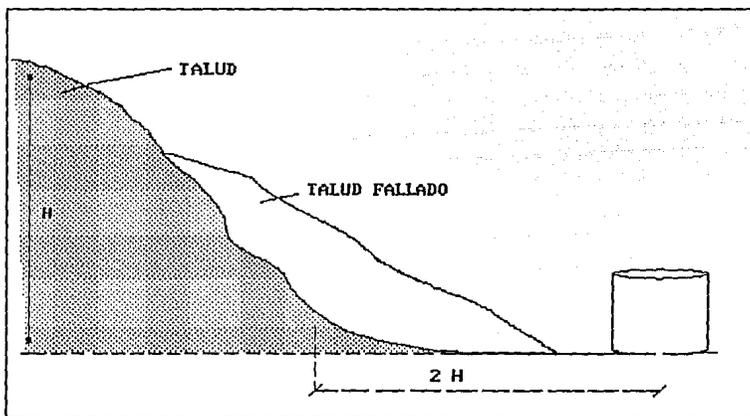


FIG. 5.1 Falla de talud

Para una operación eficiente del sistema hidráulico, que reduzca los consumos de energía al mínimo necesario, el flujo entre los diversos procesos del tratamiento debe ser por gravedad. Esta situación se logra ubicando las estructuras a diferentes niveles, considerando las tolerancias que deben existir entre cada fase del proceso de acuerdo a su perfil hidráulico. Esta condición debe analizarse conjuntamente con el comportamiento esperado de la cimentación. La condición ideal desde el punto de

vista topográfico, es la utilizar un solo bombeo, ya sea al inicio o al final del tratamiento.

## **5.2 Condiciones geotécnicas**

Los sitios disponibles para construir plantas de tratamiento son en muchos casos terrenos de inundación, en donde el subsuelo puede estar formado por materiales blandos como arcillas saturadas o arenas sueltas, con niveles freáticos superficiales, por lo que se requiere elegir una cimentación adecuada, y en algunos casos, realizar un tratamiento al terreno para reducir su deformabilidad. Además, es posible que exista un contenido importante de materia orgánica o de sales que atacarán a los elementos estructurales.

Cuando la localización de la planta sea en cauces, se debe tener en cuenta que la estratigrafía será heterogénea, y se puede presentar una amplia variedad de materiales, desde fragmentos de roca y boleos, hasta suelos finos como limos, arcilla y materia orgánica, distribuidos en forma errática en estratos horizontales y/o lentes aislados. Las terrazas aluviales, en general, podrán soportar los esfuerzos que transmitan las estructuras, pero deberá verificarse su compacidad relativa y resistencia. La presencia de suelos finos, obliga a determinar sus características de compresibilidad y resistencia.

Otros sitios disponibles son zonas de relleno reciente, que en forma usual, se encuentran en estado suelto y requieren también un mejoramiento. En todos los casos, es necesario conocer el perfil de materiales bajo cada estructura importante, cuando menos hasta una profundidad igual al ancho de la estructura o hasta encontrar material firme, lo que ocurra primero (FIG. 5.2). Cuando existan espesores importantes de turba, el sitio será desechado. Para reducir la deformabilidad del terreno de

cimentación, es posible emplear preconsolidación en arcillas y limos saturados, y compactación dinámica o vibroflotación en arenas sueltas y limos (SMMS, 1979).

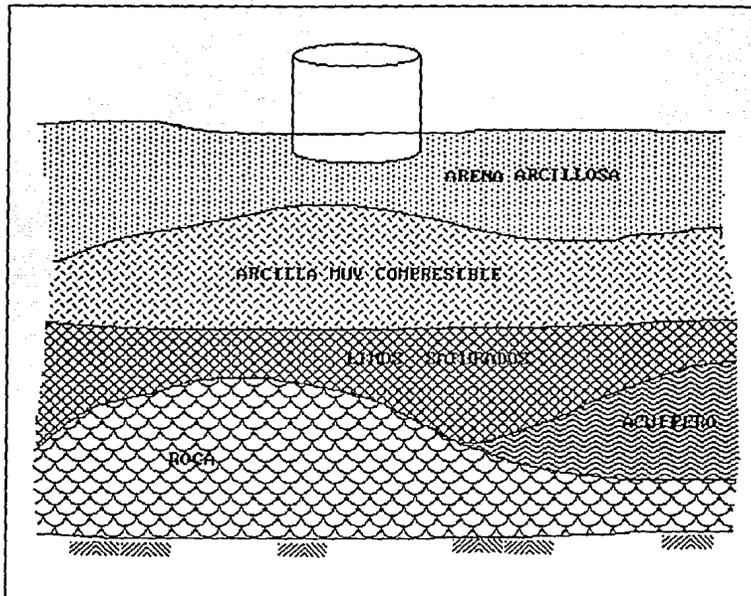


FIG. 5.2 Perfil de materiales bajo una estructura

### 5.3 Cimentación

En general, la capacidad del terreno será suficiente para desplantar las estructuras típicas de una planta de tratamiento. No ocurre lo mismo con las características de la deformabilidad, sobre todo en suelos blandos, por lo que debe analizarse la interacción entre estructuras, la cual podría desnivelarlas, el asentamiento total y la magnitud de los hundimientos diferenciales (Murillo, 1984) (FIG. 5.3). Para reducir el

efecto de interacción entre estructuras, cuando éstas son rígidas y desplantadas a poca profundidad, es conveniente una separación de 1.5 veces el ancho de la mayor estructura. Esto reduce en forma notable los asentamientos diferenciales inducidos por estructuras vecinas, pero obliga a ocupar una mayor superficie para la construcción de la planta (Comec, 1972; Murillo y Hernández, 1986).

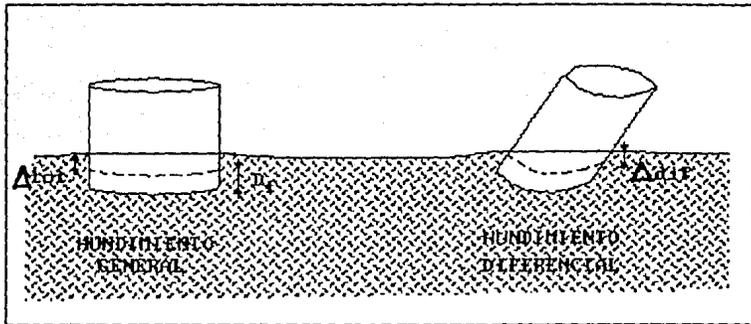


FIG. 5.3 Hundimientos en suelos blandos

Se podría pensar que una cimentación profunda, sobre pilotes, es capaz de solventar cualquier situación desfavorable sobre el terreno. Esta alternativa, además de costosa, tiene el inconveniente de que las estructuras menores, al no tener este tipo de cimiento, tendrían desplazamientos verticales diferentes a los de las mayores, con las consecuentes modificaciones de las cargas hidráulicas entre estructuras y la posible ruptura de conducciones.

En suelos blandos no es frecuente utilizar cimentación superficial, a menos que se utilicen rellenos para lograr los niveles hidráulicos necesarios. La cimentación más empleada en tanques de concreto es la compensada total o parcialmente. Cuando la

compensación es total, la estructura transmite al terreno el mismo esfuerzo, que producía el suelo antes de ser retirado (FIG. 5.4). En compensación parcial, la estructura transmite un esfuerzo mayor al del terreno excavado. Por los niveles hidráulicos requeridos, es difícil obtener una compensación total en todos los tanques, por lo que algunos podrán ser parcialmente compensados y otros totalmente compensados (Geotec, 1973). No es conveniente tener estructuras sobrecompensadas, ya que pueden sufrir expansiones que reducen la diferencia de niveles hidráulicos, sobre todo en las últimas fases del tratamiento.

Es mejor opción, tener las primeras estructuras del proceso en condición parcialmente compensada y las finales como totalmente compensadas, considerando en el diseño, los posibles asentamientos de las estructuras parcialmente compensadas.

En suelos deformables, no es conveniente la aparición de excentricidades permanentes que desnivelen las estructuras. Durante el diseño, es recomendable que se proyecten éstas con distribuciones simétricas, cuya proyección en planta corresponda a superficies regulares, y así, se puedan transmitir esfuerzos de manera uniforme en el terreno desplantado (Murillo, 1987).

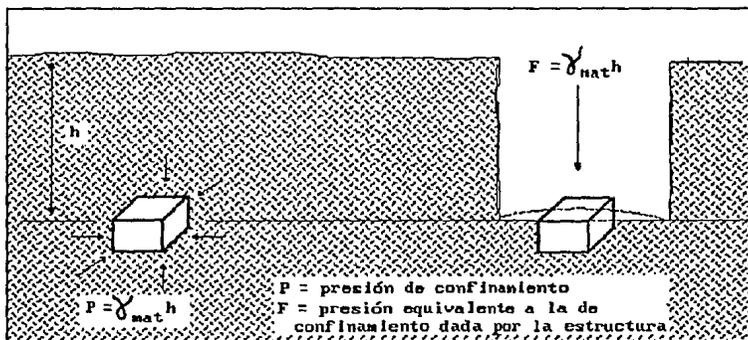


FIG. 5.4 Compensación total en suelos blandos

Algunos tanques rígidos pueden incluir, bajo el recipiente de proceso, celdas huecas para compensar peso, que además pueden lastrarse para reducir los movimientos diferenciales y evitar la flotación. Esta solución de cimentación, además del costo que implica, no es fácil de operar, por lo que sólo se deberá adoptar cuando no exista otra alternativa viable.

Cuando el sistema de tratamiento incluye lagunas, es frecuente el empleo de excavaciones y/o formación de bordos. En suelos blandos, las excavaciones producen expansiones, agrietamiento del fondo, y en casos extremos, falla de fondo; por lo que deberán preverse estas condiciones en el diseño y en la selección de los métodos constructivos. Cuando se emplean bordos para contención de las aguas de tratamiento, deben considerarse los asentamientos a largo plazo y, en zonas de concentración de cargas o en que se instalarán estructuras rígidas, deberán construirse las terracerías antes que los elementos de concreto, colocando una carga adicional de material, si esto es posible, lo que se removerá antes de la construcción de los elementos rígidos (Geotec, 1972; Murillo, 1983). Los bordos y zonas de relleno, si no son compactados en forma adecuada, podrán deformarse en forma importante al saturarse, produciendo agrietamientos y fugas de agua.

Cuando el terreno es firme, como roca o materiales compactos, los movimientos diferenciales serán pequeños, por lo que algunos comentarios indicados, no deben ser considerados. En la presencia de niveles freáticos superficiales, o la existencia de estratos impermeables bajo las estructuras, deben ser considerados en el análisis de flotación.

#### **5.4 Impermeabilización de las estructuras**

Todos los materiales tienen permeabilidad, algunos muy baja, como los suelos finos y el concreto que presentan ligeras filtraciones. Es necesario distinguir dos permeabilidades: la primera, cuando el material es homogéneo y continuo, y la

segunda, debida a discontinuidades en el material, que es la que mayores dificultades presenta.

Los suelos finos serán casi impermeables si no están agrietados; las arenas y las gravas limpias, por el contrario, serán muy permeables, por lo que requerirán un recubrimiento impermeable si se emplean en bordos o existen en el fondo de lagunas.

En bordos, los materiales como arenas y gravas con más de 30% de arcilla serán suficientemente impermeables. Los materiales arcillosos tienen menor permeabilidad cuando se compactan al 95% de la prueba Proctor con humedad igual al 2% más de la óptima. En caso de suelos limosos, debe verificarse que no sean erosionables o colapsables.

En algunas lagunas con fondo permeable, o cuando se requiere reducir al mínimo las filtraciones al subsuelo para evitar la contaminación de los acuíferos, se han utilizado, con resultados satisfactorios, los materiales térreos compactados, concreto asfáltico y recubrimiento plástico o geomembranas (Auvinet, Esquivel, 1986). Bajo esta capa impermeable, se instala un sistema de drenaje que evita la subpresión del agua y drena los gases que pudieran acumularse, reduciendo así, la posibilidad de levantamiento del recubrimiento. La mayoría de las geomembranas requieren ser recubiertas con concreto simple o suelo, para que las proteja de los rayos solares y de la abrasión. Algunos recubrimientos impermeables a base de láminas de asfalto (Rhino hide), han manifestado un mal comportamiento por mal sellado de juntas y deficiente calidad (Aguirre, Murillo, 1990); por lo que su uso no es recomendable en obras permanentes.

En el concreto hidráulico, las principales causas de fugas son las discontinuidades, producto de una mala construcción (segregación de agregados, fugas de lechada por cimbra en mal estado, excesivo vibrado, curado insuficiente, deficiente diseño y mala ejecución en la limpieza, colocación del adhesivo y empleo de productos inadecuados

en el tratamiento de juntas frías). Son menos frecuentes las grietas por movimientos diferenciales en los elementos con acero de refuerzo.

En tanques de concreto, en ocasiones es contraproducente el empleo de los comunes selladores de juntas de PVC, que dificultan los colados y generalmente favorecen las fugas, por lo que, cuando sea posible evitarlos, será mejor realizar un adecuado tratamiento de las uniones entre colados utilizando adhesivos de tipo epóxico. La máxima separación entre juntas de movimiento no debe ser mayor de 36.6 m y es conveniente reducir el número de juntas de contracción. El espesor mínimo de las bandas de PVC o caucho debe ser de 9.5 mm, con un ancho mínimo de 23 cm (IMCYC, 1984). En estructuras en que sea indispensable emplear selladores de este tipo, por ejemplo en estructuras con grandes volúmenes de concreto, deberá asegurarse que nos se desplacen durante el vaciado del concreto fresco, fijándolos en forma segura. No es recomendable el uso de selladores de polisulfuro, los cuales se deterioran en las aguas residuales.

Cuando se utiliza concreto asfáltico para impermeabilizar el fondo de tanques, se requiere el empleo de al menos dos capas: la inferior, porosa, con espesor mínimo de 7.6 cm, que puede ser construida con bajos contenidos de cemento asfáltico (2 a 6%) y que sirve como apoyo, y la superior, compactada, impermeable, de 2.5 cm de espesor mínimo, que contendrá cemento asfáltico en proporción del 6.5 al 9.5% (TAI, 1961). Cuando el subsuelo es blando, el equipo para compactar el concreto asfáltico deforma la capa de suelo con su paso, y éste "rebota" al alejarse la maquinaria, produciendo una pobre compactación. Puede aplicarse sobre esta segunda capa un tratamiento superficial a base de emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido, que selle la superficie y reduzca las filtraciones.

En caso de discontinuidades grandes, como juntas frías mal tratadas, grietas y concreto poroso, es recomendable repararlas conforme se indica en la literatura especializada (IMCYC, 1988 y SRH, 1970), utilizando mortero epóxico. No es

aconsejable utilizar morteros expansores que puedan provocar agrietamientos. Por la misma razón, no deben utilizarse morteros o aditivos para concreto que contengan hierro como agregado.

Cuando la cimentación es muy deformable, se pueden presentar movimientos horizontales relativos entre las estructuras, como en el caso de los sismos, que someten a las interconexiones a solicitaciones no consideradas en el diseño, que pueden provocar fugas por agrietamiento en atraques o tensión en tuberías, produciendo variaciones en los niveles freáticos, los que modifican el estado de esfuerzos del subsuelo, con la consecuente incidencia de movimientos diferenciales. Bajo ninguna circunstancia deben existir fugas de agua de proceso hacia la superficie o interior del terreno de cimentación, ya que esta condición, además de producir movimientos diferenciales, favorece el riesgo de flotación en las estructuras (Murillo, 1984).

La presencia de grasas, aceites y detergentes en las aguas residuales, sumada a la acción bacteriana, produce una costra sobre la superficie de suelos, concretos hidráulicos y asfálticos, que reducen la permeabilidad superficial. El mismo efecto produce el azolve en lagunas de oxidación, por lo que se reducirán con el tiempo las filtraciones a través de esos materiales. Las fugas que ocurren en grietas o discontinuidades grandes no se reducirán fácilmente. Al vaciar alguna estructura, la costra formada podrá perder sus características de impermeabilidad, ya sea porque el flujo se invierta y la desprenda o porque se seque y agriete.

Por ser el tratamiento de aguas residuales un proceso continuo, se considera que la operación de la planta nunca será suspendida. Esta consideración representa un alto riesgo, ya que el vaciado de un tanque puede provocar la flotación de la estructura si ésta es rígida, o el levantamiento del recubrimiento impermeabilizante por la presencia de subpresiones; ya sean naturales o las producidas por fugas en los tanques del proceso. El diseño debe considerar las peores condiciones ante la posibilidad de

flotación (Murillo, Hernández, 1986). Ante este problema, se debe colocar un sistema de subdrenaje que permite eliminar la subpresión, en caso que se requiera vaciar la estructura por cualquier situación.

## **5.5 Calidad de los materiales**

Los materiales que en mayor proporción se emplean en las obras de plantas de tratamiento de aguas son, en orden decreciente, suelo, concreto y acero; los cuales se encuentran sometidos al ataque mecánico, químico y biológico. La caracterización de las aguas que serán tratadas, permite, además del diseño del proceso de tratamiento, determinar la presencia de agentes agresivos al concreto y al acero, por lo que auxilia en el establecimiento del tipo de protección que requieren los equipos y la obra civil.

Los suelos pueden ser erosionados si se generan velocidades de agua superiores a 1 m/s y en general, las acciones biológicas provocan un mejoramiento; en algunos casos, las reacciones químicas podrán mejorar sus propiedades, al producirse un intercambio catiónico favorable, pero algunos elementos químicos pueden degradar la estructura del suelo superficial, con las consiguientes alteraciones en sus características mecánicas.

El principal deterioro de los concretos, es producto de las reacciones químicas, como las que ocurren entre los álcalis del cemento y el sílice de los agregados, entre el cemento y el agregado, y entre los álcalis y los carbonatos. Por ello, se deben evitar los agregados deletéreos, verificar en laboratorio que los agregados sean de buena calidad, que no reaccionen con los álcalis del cemento y reducir al mínimo la penetración del agua al interior del concreto, lo que se obtiene fabricándolo con especial atención, de manera que sea denso y compacto, con poco agrietamiento por contracción y lo más resistente al ataque químico.

Una exposición sanitaria normal, se define como aquella en la que el concreto impermeable está expuesto a líquidos con pH de 5 o solución sulfatada menor de 1,500 mg/l. La exposición sanitaria severa es aquella que sobrepasa esos límites (IMCYC, 1984).

Para obtener un concreto hidráulico durable al ataque de las aguas residuales y que tenga baja permeabilidad (exposición sanitaria normal), es recomendable utilizar relaciones agua/cemento (A/C) inferiores a 0.45, resistencia a la compresión mayor de 260 kg/cm<sup>2</sup>, revenimiento entre 2.5 y 7.5 cm y cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A), menor a 8%, como los cementos tipo V exentos de aluminato tricálcico (EAT) o del tipo II modificado (SC y FI, 1980), que permitan a los elementos estructurales resistir en forma adecuada el ataque de los sulfatos, principal causa de la desintegración de los concretos. Los contenidos mínimos de cemento/m<sup>3</sup> de concreto, recomendados para tamaños máximos de agregados de 38.1 y 25.4 mm son de 307 y 335 kg respectivamente. Los agregados que se utilicen deben cumplir con la norma ASTM C33. En caso de que los agregados sean reactivos a los álcalis, el cemento a utilizar deberá tener menos de 0.6% de álcalis (IMCYC, 1989). En caso de exposición sanitaria severa, el contenido de C<sub>3</sub>A será menor de 5% y la relación A/C menor de 0.40, además de las recomendaciones para exposición normal.

Los cementos Portland puzolánicos o C<sub>2</sub> (SC y FI, 1986), no siempre son adecuados para resistir el ataque a sulfatos. Se pueden utilizar cementos puzolánicos de bajo contenido de C<sub>3</sub>A, pero en ningún caso el contenido de puzolana debe rebasar el 25% del peso del cemento.

El uso de un aditivo que incluya aire en una proporción de 5.5 a 6% + 1% en volumen de concreto, ha demostrado ser eficiente en la producción de concretos durables. Puede emplearse además, un aditivo impermeabilizante integral, el cual debe ser dosificado correctamente, pues, puede producir efectos contraproducentes. Los aditivos que se apliquen deben ser compatibles entre sí; el agua que se utilice debe

tener calidad de potable, con un contenido máximo de cloruro soluble del 0.15% respecto de la masa del cemento; cabe aclarar que no debe agregarse cloruro soluble a la mezcla.

Algunos productos utilizados en los procesos de tratamiento, son muy agresivos al concreto, por lo que en los sitios de almacenaje, manejo y aplicación, además de las recomendaciones para condiciones sanitarias severas, se requerirá de una protección superficial. Los productos que deterioran rápidamente al concreto son: carbón activado y sílice activada en agitación, sulfato de aluminio, sulfato de amonio, hipocloruro de calcio, cloro, ácido fluosilícico, bisulfato de sodio, hidróxido de sodio (concentración mayor del 20%), ácido sulfúrico y los sulfatos de cobre y férrico (IMCYC, 1984). Las protecciones que se utilizan comprenden los revestimientos de tipo termoplásticos o termofraguantes (polímeros), cerámicas, morteros resistentes al ataque químico y películas de materiales de recubrimiento compuestas. Cuando el agua por tratar contenga desechos industriales ácidos, las protecciones aplicables son los morteros resistentes al ataque químico, mosaicos resistentes a los ácidos, epóxicos y revestimientos gruesos de polímeros, caucho o asfalto. La utilización de concretos polimerizados o impregnados con polímeros, es una alternativa para impermeabilizar y proporcionar una mayor resistencia al ataque de agentes agresivos. Sin embargo, hasta donde se sabe, aun no se emplean en México.

Para reducir los efectos agresivos del ambiente, en ocasiones se ha realizado satisfactoriamente un tratamiento superficial a base de tres aplicaciones de silico-fluoruros (fluatización), que cierra las fisuras de contracción del concreto y lo endurece superficialmente (Goebel, 1981), mas la aplicación de cuando menos dos manos a contra pelo o con aspersión de pintura epóxica con alquitrán de hulla (Murillo, 1987), con espesores de 1.3 a 6.4 mm, dependiendo de la severidad de la exposición (IMCYC, 1988).

Durante el tratamiento de aguas residuales en condiciones anaerobias, se producen ácidos orgánicos, que si bien no degradan rápidamente el concreto, su ataque constante acabará por carcomer las superficies sumergidas y las expuestas a salpicaduras, llegando a desintegrar el recubrimiento mínimo y por consiguiente, a descubrir el refuerzo de acero. El deterioro por ácido sulfúrico en tuberías, es una frecuente muestra del severo deterioro que se puede producir.

Las aguas servidas concentran las sales, principal enemigo de los elementos de acero y hierro, sobre todo el cloruro de sodio (sal doméstica); por lo que además de procurar obtener un concreto impermeable, debe incrementarse cuando menos en 1.3 cm el cubrimiento del acero de refuerzo y es conveniente que el recubrimiento mínimo sea de 7.6 cm. Las varillas no deberán quedar expuestas a las aguas del tratamiento ni al medio ambiente. Los elementos de acero, aluminio, plomo y cobre ahogados en concreto hidráulico, pueden estar sujetos a una intensa corrosión producida por corriente eléctrica de origen externo o por la existencia de diferencias de potencial eléctrica propias del concreto en diferentes condiciones de contenido de humedad. El contacto entre distintos tipos de metales, también produce este tipo de corrosión. Por estos motivos, no se debe utilizar el acero de refuerzo para proporcionar "tierra" al equipo eléctrico.

Cuando la ubicación de una planta sea en antiguas llanuras de inundación, lagunas de oxidación o suelos salinos, debe también incrementarse el recubrimiento mínimo, para evitar la corrosión mencionada.

Las partes metálicas como tuberías, válvulas, escaleras marinas, rejillas, etc., son objeto de un intenso ataque por corrosión. Las conducciones deben enterrarse si el suelo no es agresivo y todos los elementos de hierro deben protegerse con pintura anticorrosiva. Una buena alternativa, es limpiar el acero y hierro con chorro de arena y aplicar 3 manos de recubrimiento epóxico con alquitrán de hulla. Cuando la corrosión se ha iniciado, será muy difícil detenerla, por lo que vale más hacer un gasto

importante inicialmente, que muchos paliativos frecuentes que no resuelven la situación.

## **5.6 Procedimientos constructivos**

El orden y los métodos seleccionados para la construcción, afectan en forma notable el comportamiento de las estructuras del sistema de tratamiento, por lo que los procedimientos y secuencias de ejecución deben ser especificados claramente. Una adecuada comunicación entre diseñadores y constructores favorecerá el resultado final.

Durante la construcción, surgen situaciones imprevistas que pueden perjudicar el funcionamiento de una planta de tratamiento, por lo que es función de los proyectistas predecirlas, prevenirlas y reducirlas a un mínimo razonable. Algunas situaciones previsibles se mencionan a continuación.

En excavaciones sobre suelos deformables, se debe establecer un orden que permita que la descarga de subsuelo sea uniforme, debido a que si se inicia en un extremo y se finaliza en otro, se producirán mayores expansiones en las zonas que se descargó primero. El efecto contrario se produce durante la construcción de la estructura, si ésta no es uniforme. En ambos casos conviene, que los procedimientos de carga y descarga de terreno sean uniformes y simétricos (Murillo, Hernández, 1987).

Debe darse especial atención a la estabilidad de las excavaciones, ya que cortes en apariencia estables a corto plazo, se pueden colapsar súbitamente, afectando la superficie de desplante, lo que modifica las propiedades del subsuelo y repercutirá en el comportamiento final de las estructuras (Murillo, 1984b). La presencia de agrietamientos en esta fase de la construcción, refleja problemas de inestabilidad en breve lapso y cuando existe aportación de agua hacia la excavación, se incrementa

el riesgo de falla. En suelos gruesos con niveles freáticos superiores al fondo de la excavación (MIAPSA, 1989), podrán presentarse caudales por infiltración de importancia y, en algunas circunstancias, aportación abundante de arenas finas que desgastan rápidamente los equipos de bombeo para el abatimiento de los niveles freáticos.

Por ninguna razón se deben permitir encharcamientos superficiales durante la construcción; los caudales extraídos de las zonas excavadas y los aportados por precipitaciones, se deben desalojar fuera de la obra para así poder realizar los trabajos en "seco".

Los plazos de ejecución determinados por los análisis de expansiones y asentamientos deben ser rígidamente observados, pues su falta de cumplimiento puede provocar deformaciones indeseables. Por este motivo, los plazos de aplicación de bombeo para incrementar esfuerzos efectivos, estabilizar y/o conservar secas las excavaciones, se deben ajustar a los tiempos estimados. La aplicación de nuevas tecnologías o adaptación de ellas, requiere un mayor plazo de ejecución, por lo que en los programas deben considerarse tolerancias que permitan familiarizarse con los nuevos procedimientos.

La mayor parte de los asentamientos sobre suelos compresibles, se producen durante la construcción. Sin embargo, existen casos en que los asentamientos diferidos continuarán durante meses e incluso años, en ocasiones con magnitud intolerable, por lo que aquellas estructuras donde se presente esta situación, deberán ejecutarse primero. En las plantas de tratamiento que constan de dos o más módulos paralelos, es conveniente que las excavaciones y construcciones de estructuras, se efectúen en forma alternada, esto es, que se procure evitar tener bombeos, excavaciones o estructuras aldañas simultáneamente en construcción.

Suelen olvidarse algunas normas sencillas en la ejecución de estructuras de concreto, como son un tiempo adecuado de mezclado del concreto fresco, una colocación y vibrado conveniente, uso de cimbra en buenas condiciones y sobre todo un curado efectivo. Sobre éste último, es conveniente considerar que cuando se emplean membranas de curado, que por los común se elaboran a base de parafinas, será difícil aplicar posteriormente tratamientos como la fluatización o protecciones superficiales, por lo cual puede emplearse la protección superficial como membrana de curado, cuando sea compatible con el concreto húmedo. En caso de emplear membranas para curado, se deberá limpiar la superficie con ácido muriático o de preferencia con chorro de arena antes de aplicar los recubrimientos.

Cuando estructuras rígidas se alojan en excavaciones, se requiere efectuar rellenos perimetrales. Aunque los materiales granulares, como la grava, son fáciles de colocar y compactar, presentan el inconveniente de su alta permeabilidad y con ello el riesgo de que sean vías de agua, tanto del tanque al subsuelo, como del suelo hacia el perímetro de la estructura. Esta situación representa un riesgo potencial de flotación, por lo que es preferible el empleo de materiales de baja permeabilidad compactados, como las arenas arcillosas (tepetate).

Una supervisión y control de calidad adecuados durante la construcción, evitará sorpresas desagradables en la operación. Se debe tener especial cuidado que se realicen conforme al proyecto y a las especificaciones, la compactación de terracerías, la elaboración, colocación, vibrado y curado de los concretos, el buen sellado de las juntas, la unión de geomembranas y otros elementos impermeables, así como la utilización de materiales de buena calidad.

## 5.7 Sistemas de conexión

Se ha hecho hincapié en el efecto que producen las deformaciones del subsuelo, que evidentemente afectan también a las conducciones hidráulicas entre las diversas fases del tratamiento, además de las sollicitaciones propiamente hidráulicas, por lo que las conducciones se ven sometidas a compresiones, tensiones, flexiones, arrastre por movimiento de cuerpos rígidos, así como al ataque químico (FIG. 5.5).

Aun en terrenos firmes, por el sólo efecto de contracción y expansión térmica del concreto, se producen movimientos de las estructuras, por lo que deberá considerarse en los análisis estructurales e hidráulicos y diseñar las conexiones de forma que permitan ajustar su posición prácticamente al final de la construcción. De igual forma, los elementos vertedores deben ser diseñados para su ajuste final o correctivo, con el fin de proporcionar los niveles de proyecto, ya que las variaciones en éstos, modifican los tiempos de retención en cada fase del tratamiento y por tanto la eficiencia del sistema.

Es conveniente la instalación de válvulas seccionadoras entre los diversos módulos y fases del tratamiento y juntas flexibles en las cercanías de las estructuras, que permitan pequeñas deformaciones en las tuberías, reduciendo el riesgo de ruptura. Las tuberías de acero y concreto se deberán tratar con protección superficial, como la pintura epóxica, para una mayor durabilidad. Cuando el suelo o el ambiente sea agresivo, requerirán también protección exterior. La disponibilidad reciente en México de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) en diámetros hasta de 1.14 m, representa una alternativa atractiva, ya que además de ser flexibles, no requieren juntas ni protección contra el ataque químico.

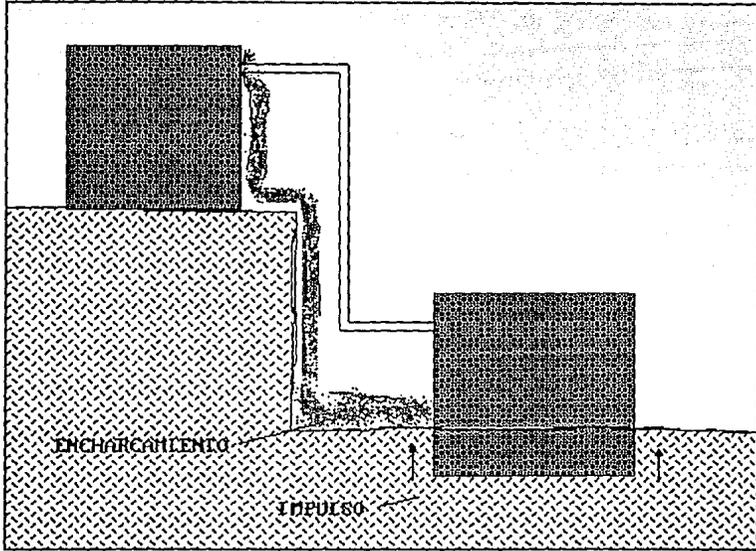


FIG. 5.5 Ruptura de conexiones debida a flotación

### 5.8 Operación y mantenimiento

Es poco común el considerar que las obras civiles se operan. En sistemas de tratamiento, por lo general, se elabora un Manual de Operación y Mantenimiento, pero no se incluye a las estructuras civiles. Una planta de tratamiento puede quedar fuera de operación y trabajar con baja eficiencia, conservando en forma correcta sus estructuras; sin embargo, si éstas están dañadas, se obligará a realizar reparaciones mayores y en situaciones extremas, a su cierre definitivo.

Se debe incluir en el manual de operación los aspectos relativos a su obra física, y conservar en las instalaciones un juego de planos y especificaciones de construcción

y equipamiento; con el fin de realizar el mantenimiento preventivo conforme a las normas originales.

En suma, los proyectos estructurales, hidráulicos, de instalaciones eléctricas, así como las construcciones de plantas de tratamiento de aguas residuales, deben ser realizados por profesionales que conozcan el área, puesto que no se trata de una obra civil más, sino de instalaciones con un alto grado de complejidad como las presas y los puentes. Si no se dispone de una infraestructura diseñada y construida en forma apropiada que considere las características del terreno de cimentación, de las aguas residuales y los procedimientos de construcción que tienen influencia en el funcionamiento hidráulico, eficiencia del tratamiento y durabilidad de las estructuras, entonces la funcionalidad de la planta puede representar un fracaso total.

## **6. CASO DE ESTUDIO: UNIDADES HABITACIONALES DEL INFONAVIT**

### **6.1 Análisis global de las plantas de tratamiento inspeccionadas**

El análisis de la información recabada de las plantas de tratamiento, con base en un cuestionario elaborado para este fin (ANEXO 2), permitió identificar las fallas que afectan su funcionamiento, así como establecer las causas que las originaron, con la finalidad de prevenir que éstas se repitan en futuras instalaciones.

Se visitaron 24 de las 56 plantas de tratamiento de agua residual inventariadas por el INFONAVIT, ubicadas en 4 Delegaciones Estatales (Veracruz, Guerrero, Puebla y Morelos). El número de plantas visitadas representa un 43% del total instalado.

El número y tipo de sistemas de tratamiento visitados es el siguiente: 4 fosas sépticas (16%), 11 tanques Imhoff (47%), 1 laguna (4%), 2 filtros percoladores (8%) y 6 lodos activados en su modalidad de aireación extendida (25%). Esto representa un 63% de tratamientos primarios y un 37% de tratamientos secundarios (FIG. 6.1). En la TABLA 6.1 se presenta la relación de las plantas inspeccionadas, el tipo de proceso utilizado y su estado actual de funcionamiento.

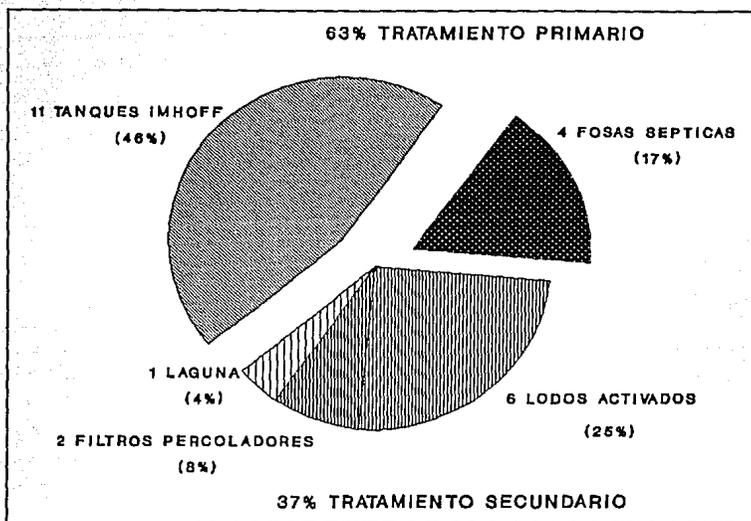


FIG. 6.1 Número y tipo de plantas de tratamiento examinadas en 4 Delegaciones Estatales del INFONAVIT

Cabe resaltar, que únicamente se realizó una inspección cualitativa de la infraestructura y del proceso, dado que el proyecto no contemplaba la realización de pruebas analíticas para determinar la calidad del influente y efluente; y en función de esto, se determinaron que plantas operaban y que plantas no lo hacían.

Para obtener una mayor claridad en el análisis, es conveniente precisar como se emplea en el presente trabajo el término **falla**. Para este fin se definirá como falla, a aquellas circunstancias o situaciones que alteran o impiden el correcto funcionamiento de las plantas de tratamiento.

TABLA 6.1 ESTADO ACTUAL DE OPERACION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO INSPECCIONADOS

NOMBRE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	CIUDAD	FECHA DE VISITA	TIPO DE PLANTA	No.DE HABITANTES	ESTADO ACTUAL FUNCIONAMIENTO
<b>VERACRUZ:</b>					
PASTORESA	JALAPA	ABR-92	Fosa séptica	ND	No opera-se encuentra abandonada
GAVIOTAS I	POZA RICA	ABR-92	Tanque Inhoff	ND	No opera-se encuentra abandonada
GAVIOTAS II	POZA RICA	ABR-92	Tanque Inhoff	ND	No opera-se encuentra abandonada
TENECHACO	TUXPAN	ABR-92	Tanque Inhoff	4,990	No opera-se encuentra abandonada
PUERTO PESQUERO	TUXPAN	ABR-92	Aireación ext.	ND	No opera-se encuentra clausurada
RIO MEDIO	VERACRUZ	ABR-92	Tanque Inhoff	ND	No opera-la obra no se concluyó
CHIVERIAS	VERACRUZ	ABR-92	Tanque Inhoff	2,678	Mala calidad del efluente
LAS HORTALIZAS	VERACRUZ	ABR-92	Filtro percolador	ND	Mala calidad del efluente
PUERTO PILOTO	ALVARADO	ABR-92	Fosa séptica	ND	No opera-se encuentra abandonada
EL TESORO	COATZACOALCOS	ABR-92	Lagunas	10,736	No opera-la obra no se concluyó
RANCHO ALEGRE	COATZACOALCOS	ABR-92	Fosa séptica	ND	No opera-se encuentra abandonada
<b>GUERRERO:</b>					
TECNOLOGICO	ACAPULCO	MAY-92	Aireación ext.	ND	Opera
COLOSO	ACAPULCO	MAY-92	Aireación ext.	ND	Opera
AMPLIACION COLOSO	ACAPULCO	MAY-92	Aireación ext.	ND	Opera
LA JABONERA	ACAPULCO	MAY-92	Aireación ext.	ND	Opera
<b>PUEBLA:</b>					
O.I. ZONA NORTE	PUEBLA	JUL-92	Tanque Inhoff	5,150	No opera-se encuentra abandonada
O.I. ZONA SUR	PUEBLA	JUL-92	Tanque Inhoff	16,512	No opera-se encuentra abandonada
VILLA FRONTERA	PUEBLA	JUL-92	Aireación ext.	12,384	No opera-se encuentra abandonada
ANTONIO J.HERNANDEZ	SN MARTIN TEXMELUCAN	JUL-92	Tanque Inhoff	ND	No opera-se encuentra abandonada
<b>MORELOS:</b>					
LOMAS DE CORTES	CUERNAVACA	JUL-92	Tanque Inhoff	4,424	No opera-se encuentra abandonada
TEOPANZOLCO	CUERNAVACA	JUL-92	Tanque Inhoff	5,253	Opera
LAS CAÑAS	JOJUTLA	JUL-92	Fosa séptica	695	Opera
10 DE ABRIL	CD. AYALA	JUL-92	Tanque Inhoff	3,853	No opera-se encuentra abandonada
PIEDRA BLANCA	CUAUTLA	JUL-92	Filtro percolador	ND	No opera-se encuentra abandonada

ND NO DISPONIBLE

A continuación se describen los aspectos de mayor relevancia identificados durante la inspección.

- El 17% de estas plantas operan y llevan a cabo la desinfección del efluente del sistema (aireación extendida, ubicadas en el municipio de Acapulco, Gro.). Del 83% restante, 62% se encuentran abandonadas, 4% clausuradas y 17% generan un efluente de "mala calidad" (FIG. 6.2).

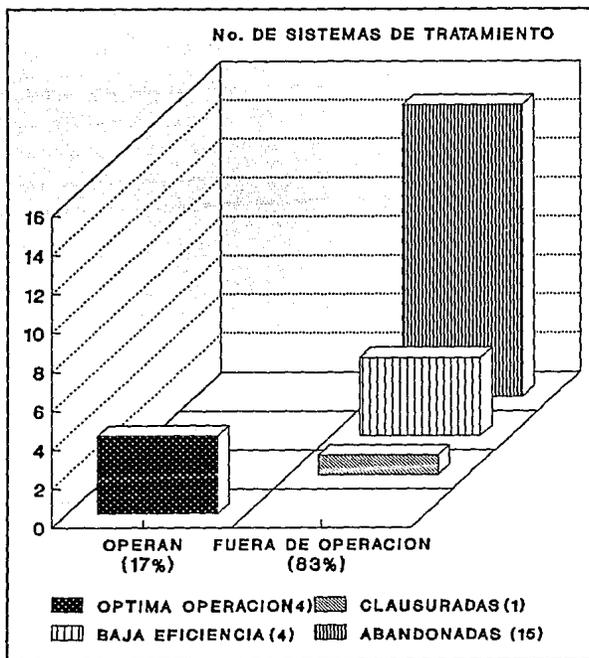


FIG. 6.2 Estado actual de operación de los sistemas de tratamiento

Con respecto al sitio de descarga, el 83% se dirige a cuerpos de agua, los cuales destacan por su importancia: la laguna de Tres Palos, la laguna de Alvarado, el río Atoyac y el río Amacuzac. Un 4% descarga a sitios de infiltración y el restante, 13%, descarga al alcantarillado (FIG. 6.3).

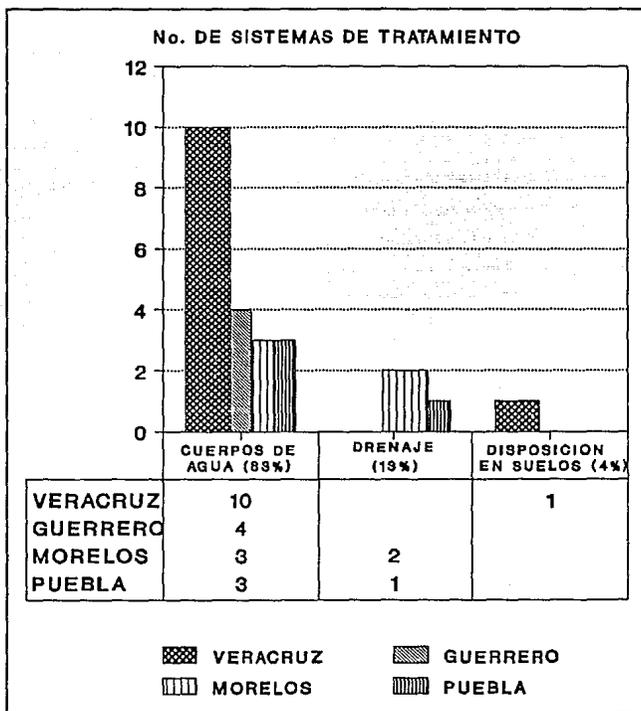


FIG. 6.3 Sitios de descarga de los sistemas de tratamiento

- 7 de los 11 tanques Imhoff (5 en Veracruz y 2 en Morelos) y los 2 filtros percoladores instalados, fueron diseñados y construidos por una sola firma de ingeniería, lo que representa un 33% del total de las plantas; cabe resaltar que éstas no operan.
- Se observó que el sistema de alcantarillado de todos los conjuntos habitacionales es separado a excepción de Gaviotas I y II, en Poza Rica, Ver. donde sólo existe drenaje sanitario. Sin embargo, sólo el municipio de Acapulco, Gro. cuenta con un sistema eficiente de alcantarillado pluvial; en todos los demás casos, las aguas sanitarias se mezclan con las pluviales.
- Únicamente el municipio de Acapulco, Gro., se ha hecho cargo de la administración, operación y mantenimiento de sus plantas, las cuales representan el 25% de los sistemas de tratamiento inspeccionados.

Las principales fallas que afectan o impiden el correcto funcionamiento de las plantas de tratamiento son:

- En la mayoría de las plantas de tratamiento se carece de dispositivos de control y/u operación. Tales dispositivos pudieron ser identificados como válvulas, compuertas, medidores de flujo y bombas. Además, se llegó a omitir la instalación de tuberías de purga de lodos y la construcción de canales para la conducción de éstos. No se puede precisar si esto se debe a un mal diseño, al abandono de la construcción, a la ignorancia en la concepción física del sistema o inclusive, a posibles hurtos de los dispositivos, ya que la mayoría de las instalaciones se encuentran abandonadas (FOTOGRAFÍAS 6.1 Y 6.2).

- En el caso de la laguna de tratamiento de la unidad "El Tesoro" en Coatzacoalcos, Ver., existe una relación de  $0.04 \text{ m}^2/\text{hab}$  con un tiempo de retención de 2.5 hs. Si se considera que los criterios teóricos para el diseño de este tipo de proceso son de  $6 \text{ a } 8 \text{ m}^2/\text{hab}$  con tiempos de retención de 40 a 60 días (Noyola y Briones, 1990), entonces puede inferirse, que no se realiza ningún tipo de tratamiento dadas las características del subdimensionamiento (FOTOGRAFIA 6.3).

- Se identificaron dos casos de mala ubicación de las plantas. El primero de ellos, en la unidad Gaviotas II en Poza Rica, Ver. Esta planta está ubicada en una porción del cauce del río Cazones (FOTOGRAFIA 6.4), y dentro de la misma, se pudieron apreciar los niveles que alcanzan las aguas en época de avenidas (FOTOGRAFIA 6.5); razón por la cual, se encontró una posible falla por flotación del tanque Imhoff, ya que éste presenta una fractura longitudinal en la base de la caja receptora del efluente.

El segundo caso se presentó en la unidad las Cañas en Jojutla, Mor.; en donde el tubo del efluente de las fosas sépticas, se localiza aproximadamente a la mitad del talud de un arroyo cercano a la unidad; esto provoca que en época de avenidas, se ahogue el tubo y por consiguiente, el retorno de las aguas residuales a las viviendas más cercanas.

- Se observó que ninguna de las plantas cuenta con sistema de desvío (bypass), para evitar el mezclado de las aguas sanitarias con las pluviales; en el caso de Lomas de Cortés en Cuernavaca, Mor., de Chiverías en Veracruz, Ver. y Pastoresa en Jalapa, Ver., éste efecto produce problemas de inundación en las instalaciones y en las casas aledañas a las unidades habitacionales (FOTOGRAFIA 6.6).

- Finalmente, se pudieron identificar seis casos en los que, posiblemente, se emplearon materiales de mala calidad, hubo mal diseño o la solución constructiva fue la inadecuada.

En el caso de Gaviotas II en Poza Rica, Ver., el empleo de ladrillo rojo junteado en la estructura del efluente, posiblemente favoreció la flotación del tanque Imhoff, el cual no tuvo la condición de monolitividad requerida (el tanque es de concreto), para trabajar en conjunto ante un impulso vertical hacia arriba (FOTOGRAFIA 6.7).

En la unidad habitacional de Chiverías en Veracruz, Ver., se construyeron 9 lechos de secado, con área superficial de 5 x 4 m y 2 m de altura, a base de ladrillo rojo. Uno de ellos, sufre un agrietamiento que inicia en una esquina a lo largo de toda su altura hasta la base del tanque. Esto se debe, presumiblemente, a que no tuvo una buena impermeabilización o al deficiente acabado de la estructura. Otro factor desconcertante, es la altura de los lechos y la ausencia de elementos rigidizantes en los muros largos de éstos; tal hecho, pudo haber causado problemas de estabilidad, en el caso de que los lechos alojaran gran volumen de lodo.

En la unidad de Rancho Alegre en Coatzacoalcos, Ver., se apreciaron pequeños escurrimientos en los costados de las fosas sépticas enterradas. No se sabe con certeza el material empleado para la construcción de éstas; sin embargo, se puede asegurar que no son de concreto. Estos escurrimientos, afectan directamente a la población aledaña a la unidad, ya que el abastecimiento de agua la realizan a base de pozos de extracción y, según versiones de los vecinos, tienen problemas de salud por la posible contaminación de sus pozos.

En Teopanzolco en Cuernavaca, Mor., los lechos de secado son de ladrillo rojo con mortero, pero sin acabados de cemento; este hecho, aunado a la falta de impermeabilización, favoreció el deterioro de los muros, los cuales se encuentran semidestruídos.

En la unidad de Piedra Blanca en Cuautla, Mor., se tiene una torre de oxidación biológica (filtro percolador, FOTOGRAFIA 6.8), la cual se encuentra con la estructura de distribución totalmente caída sobre el medio de soporte (anillo Pall, FOTOGRAFIA 6.9). La escalera de acceso a la torre, tiene los anclajes debilitados, debido a su mala colocación; esto definitivamente representa un peligro potencial para la seguridad del personal.

En la unidad Obreros Independientes Zona Sur en San Miguel Apetalchica, Puebla, Pue., se cuenta con un tanque Imhoff para 16,512 y actualmente se está ampliando el conjunto. El tanque cuenta con cuatro pasarelas de concreto, las cuales tienen deflexiones apreciables; aunque esto no representa un peligro, la estética de la estructura se ve deteriorada y manifiesta una sensación de inseguridad para el personal que transita sobre ella (FOTOGRAFIAS 6.10 Y 6.11).

Por las razones expuestas, las principales causas que dan origen a las fallas encontradas, son de carácter administrativo y técnico.

El principal aspecto de carácter administrativo, es el relacionado con la carencia de recursos económicos y la falta de un mecanismo o un esquema organizado para la operación y el mantenimiento de las plantas de tratamiento.

Dentro de los aspectos técnicos destacan fundamentalmente, la inadecuada selección de tecnología para el tratamiento y la falta de lineamientos y especificaciones que regulen la construcción de sistemas de saneamiento para el agua.

Finalmente se puede agregar, que entre los involucrados ha existido poco interés en construir y operar infraestructura para el tratamiento del agua. De lo anterior se desprende que, cuando se han construido sistemas de tratamiento para el INFONAVIT, los resultados han sido poco satisfactorios:

## **6.2 Recomendaciones para la rehabilitación de los sistemas instalados**

Del análisis realizado se desprende que, las fallas encontradas en las plantas de tratamiento fueron causadas por situaciones de carácter administrativo y técnico.

En el presente apartado se analizan las acciones que permiten mejorar y/o rehabilitar la funcionalidad de los sistemas instalados.

### *6.2.1 Aspectos administrativos*

Las fallas de carácter administrativo, se relacionan directamente con la falta de soporte financiero para la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento inspeccionados. No se puede confiar en que aquellos que producen la contaminación emprendan voluntariamente medidas para reducirla. Esto se debe a que tales medidas incrementan los costos, sin obtener necesariamente, parte o la totalidad del beneficio correspondiente. Se puede establecer en términos generales, que las empresas y los hogares, tenderán a elegir voluntariamente el incurrir en costos, sólo cuando perciban un beneficio por lo menos equivalente.

Al fenómeno del costo, que se deriva de las descargas sin tratamiento y que impacta a terceros, se le conoce con el nombre de costos externos. Si no existe un mecanismo para exigir a los contaminadores que tomen en cuenta los costos externos, entonces la contaminación seguirá produciéndose.

Los medios para inducir a los contaminadores a controlar sus descargas al ambiente, pueden clasificarse en tres alternativas.

La primera se basa en el uso de la autoridad reguladora del gobierno, para exigir el cumplimiento de las normas (en volumen y/o concentración); mediante sanciones tipo multa o clausura.

La segunda, es brindar financiamientos a los contaminadores, para que tomen medidas, y así reducir la contaminación o mantenerla a un nivel específico; esto puede concretarse a través de créditos o subsidios.

La tercera, es aplicar a los contaminadores, impuestos o cobros en proporción al magnitud o a la concentración de sus efluentes.

Cualquiera de las medidas anteriores debe ir acompañada de una campaña masiva de concientización, en la preservación de los bienes hídricos y la necesidad de tratarlos después de su consumo o uso.

#### 6.2.1.1 Aplicación de subsidios

La transferencia del costo de tratamiento de aguas residuales domésticas, como servicio público, puede derivar una compleja estructura para la recaudación de impuestos. Sin embargo, como todos contaminamos de alguna manera, la contribución de personas físicas o morales, podría ser una alternativa viable, si se organiza adecuadamente, para la construcción de sistemas de tratamiento en los municipios (FOTOGRAFIA 6.12), manejándolo como un servicio público adicional.

#### 6.2.1.2 Aplicación por cobros de descarga.

Consiste en aplicar a los contaminadores, impuestos o cobros en proporción a la magnitud o a la concentración de sus descargas. Se instauró en México a partir del 26 de diciembre de 1990, fecha en la que se publica en el Diario Oficial de la Federación, la adición del capítulo XIV referente al *"Derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación, como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales"* a la Ley Federal de Derechos. Este

nuevo derecho, fue el resultado de reconocer que la contaminación de los cuerpos de agua y de los suelos del país, estaba alcanzando límites inadmisibles (Medina, 1992).

Este derecho grava a todas aquellas personas físicas o morales que por encima de las *concentraciones permisibles*, realicen descargas permanentes, intermitentes o fortuitas, en bienes de la Nación.

En resumen, si el costo unitario en la reducción de la contaminación, es menor, que el costo unitario de pago por la descarga, entonces los contaminadores tenderán a adoptar medidas que les permitan incrementar la calidad de sus efluentes. Por tal razón, el cobro por derecho de descarga puede resultar, el mecanismo más adecuado para promover el tratamiento de aguas residuales con un nivel de calidad alto.

#### 6.2.1.3 Organismos operadores

La privatización, como una alternativa de financiamiento de diferentes tipos de obras públicas, se ha usado frecuentemente en algunos países durante los últimos diez años. Sin embargo, la aplicación de este enfoque a los sistemas de tratamiento de aguas residuales es relativamente nuevo. El método ha sido particularmente útil, en situaciones en donde la asistencia financiera externa es reducida o nula y donde la comunidad debe sufragar todo el costo del diseño, construcción, operación y mantenimiento.

El esquema típico bajo el cual se aplica la privatización, se basa en la inversión que realiza una entidad privada para diseñar, construir y operar una instalación de tratamiento que asume en propiedad. La entidad privada, vende los servicios a la comunidad mediante una tarifa que se fija, de manera que proporcione los ingresos necesarios, para cubrir los costos de inversión, operación y mantenimiento. Otro esquema es el de la privatización parcial, en el cual se contratan exclusivamente los servicios de operación y mantenimiento del sistema (Palange y Zavala, 1987).

En términos de Ley, el servicio de saneamiento de aguas residuales, forma parte del servicio público de agua potable y alcantarillado, a que se refiere el artículo 115 constitucional, por lo que le son aplicables los mismos principios y regulación. De ello destacan los siguientes aspectos:

- a) Al igual que el servicio de agua potable y alcantarillado, el tratamiento y disposición de aguas residuales, es susceptible de concesionarse por el ayuntamiento o se puede celebrar contrato para su administración u operación con terceros, en caso de que ya se tuviera la infraestructura instalada.
  
- b) Se concesionará cuando a través del servicio de agua tratada y el cobro de tarifas de la empresa a los usuarios, se recupere la inversión, así como los gastos de operación. Se contratará cuando la recuperación se efectúe con cuotas o tarifas del municipio y de su organismo operador, mismas que se cobrarán dentro o adicionalmente a las del agua potable y alcantarillado.

Para el caso en que la planta está ya construida, se podrá celebrar contrato de servicios para la operación, conservación y mantenimiento. Si no se ha construido, se debe recurrir a contratos "llave en mano", en donde el proyecto, la construcción, el equipamiento, la tecnología, así como el financiamiento, su operación y mantenimiento, corran a cargo de particulares o inversión privada.

El contrato "llave en mano", consiste en entregar la planta operando y es un mecanismo atípico o innominado, en tanto como tal, no está regulado en la Ley; no obstante, se ha aplicado la normatividad del contrato de obra pública, por lo que debe existir licitación y concurso.

#### 6.2.1.4 Reuso del agua como incentivo económico

La venta del agua residual tratada, es una ventaja tributaria para la entidad que administre y opere los sistemas de tratamiento.

Es interesante señalar que en México, las primeras plantas de tratamiento se construyeron con el único propósito de reusar el agua tratada. Las principales razones que propiciaron esta tendencia, fueron la escasez del recurso en la cuenca del Valle de México y los altos costos que representa el importar agua de cuencas vecinas.

En nuestras principales ciudades, el agua es un recurso limitado y por tanto, un manejo mediante su reuso, permitirá disminuir el costo de abastecimiento al reducir el volumen de extracción y requerimientos de traslado.

En la TABLA 6.2, se presenta el consumo promedio de agua, para los diferentes usos que de ella se hace en la vivienda. Se observa, que es posible el empleo de agua residual tratada para los usos de retrete, jardinería y lavado de automóviles.

TABLA 6.2 CONSUMO MEDIO DE AGUA EN LITROS/PERSONA/DIA

USO	PROMEDIO*	PORCENTAJE %	POSIBILIDAD DE REUSO
Retrete	64.0	33.68	si
Higiene personal	57.5	30.26	no
Lavado de ropa	11.5	6.05	no
Lavado de vajilla	16.0	8.42	no
Bebida y cocción	7.5	3.94	no
Jardinería y lavado de autos	8.5	4.47	si
Pérdidas	25	13.15	no
TOTAL	190.0	99.97	72.5 (38.15%)

\* Promedio de Estados Unidos y Reino Unido  
FUENTE: Lama, 1988

Es importante señalar que el empleo de dispositivos de ahorro de agua y retretes de bajo consumo, aunado al reuso del agua, permiten reducir la dotación por persona, a por lo menos 90 l/hab/d. De esta manera, las fuentes de abastecimiento duplican su potencial de servicio; del mismo modo, las descargas de aguas residuales se reducen en un 50%.

### *6.2.2 Modificaciones a los procesos*

Las modificaciones a los sistemas de tratamiento instalados, tienen como objetivo el incrementar su eficiencia, a fin de alcanzar las condiciones de calidad para su reuso, según las TABLAS 2.3 y 6.2; y se basan en el mejor aprovechamiento de las estructuras, teniendo cambios mínimos y bajos costos en su adecuación.

#### *6.2.2.1 Tanques Imhoff*

Los tanques Imhoff, 47% de la infraestructura total instalada en las unidades del INFONAVIT, se diseñan para retirar de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables; por ello, el diseño de estas unidades, sólo se basa en la reducción de la velocidad de flujo, hasta alcanzar valores inferiores de 1 cm/s, en un tiempo de retención de 1.5 a 2.5 h. Las eficiencias típicas de remoción que se obtienen con estos sistemas, son de 60% de SS y del 30% en la DBO.

En estas unidades, se considera la función adicional de descomposición de una parte de los sólidos orgánicos sedimentados, por lo que en su diseño se integra un compartimiento, en donde se efectúa la biodegradación de los lodos. Esta particularidad, posibilita su conversión a reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB), lo que en teoría permitirá incrementar la remoción de SS en un 80% y la DBO hasta un 75%, de manera que la calidad del efluente reúna las características apropiadas para su disposición en drenaje (FIG. 6.4).

Las modificaciones propuestas para la adaptación de los tanques Imhoff a reactores UASB, deben ser probadas experimentalmente en un modelo a escala piloto, de modo que se puedan establecer las características hidrodinámicas del flujo, así como los parámetros y criterios de diseño a escala real.

### 6.2.2.2 Filtros percoladores

Para el diseño de filtros percoladores, se han establecido diversas ecuaciones y procedimientos. Las ecuaciones que más se emplean, son las desarrolladas por la National Research Council (NRC), la de Velz y la de Eckenfelder; éstas se han obtenido en

forma experimental y se requiere conocer o definir las constantes de tratabilidad (k) y las características del empaque (n).

Por ejemplo, aplicando la ecuación de Eckenfelder, con los valores reportados por la EPA (1977) e involucrando las características de área y profundidad de los filtros percoladores instalados (Piedra Blanca, Mor. y Hortalizas, Ver.), se puede estimar la concentración teórica de DBO en el efluente, de la siguiente manera:

$$S_e = S_i * EXP \left[ \frac{-kD}{q^n} \right]$$

donde:

$S_e$  = concentración de la DBO<sub>5</sub> en el efluente, mg/l

$S_i$  = concentración de la DBO<sub>5</sub> en el influente, 175 mg/l

D = Profundidad del filtro, 18.7 ft

q = carga hidráulica, 0.546 gpm/ft<sup>2</sup>

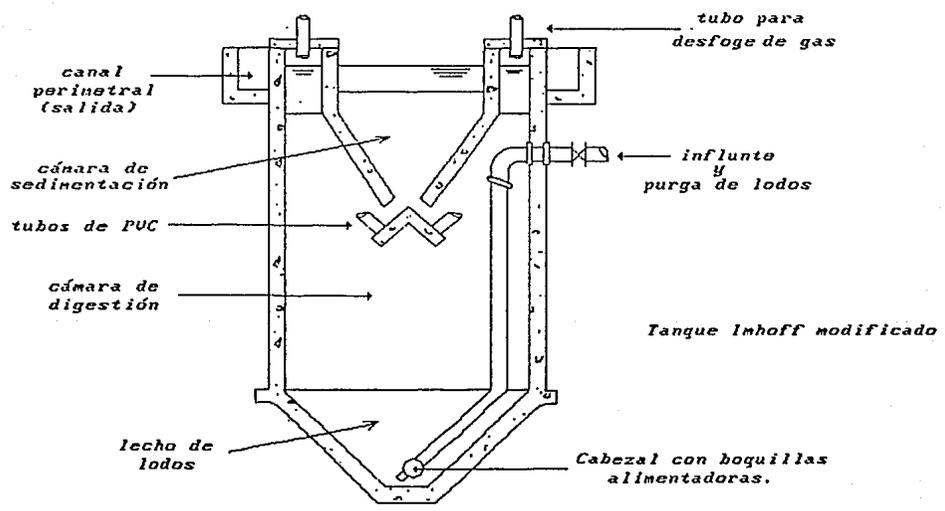
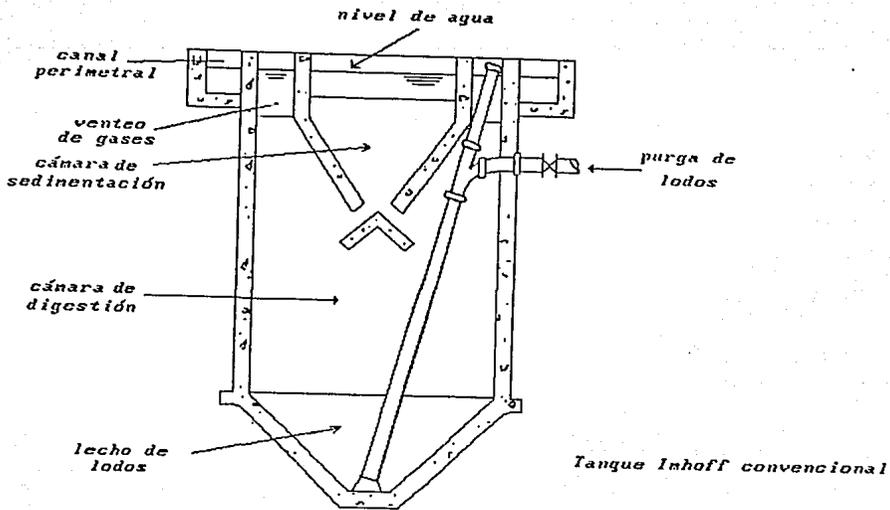


FIG. 6.4 Modificación de tanque Imhoff a un reactor UASB

T= temperatura mínima de operación, 10°C

e= factor de corrección por temperatura, 0.7089

k= 0.070 para agua residual doméstica

n= 0.50 para agua residual doméstica y empaque plástico.

sustituyendo en la ecuación los valores, se obtiene que la concentración teórica en el efluente es de 50 mg DBO<sub>5</sub>/l, lo cual representa una eficiencia de remoción del 70%. Sin embargo, en las visitas realizadas, se pudo evaluar cualitativamente, que la calidad del influente es similar a la del efluente.

Por otro lado, el anillo Pall como medio de soporte, ofrece una relación área/volumen de 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Otros materiales plásticos como los corrugados (de flujo cruzado), ofrecen una relación de 140 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>; esto incrementa la remoción de DBO en aproximadamente un 20% (Young, 1991). Por esta razón, se recomienda sustituir el empaque Pall por empaque de flujo cruzado en los filtros ya instalados (FIG. 6.5).

### 6.2.2.3 Lagunas y fosas sépticas

En el caso de la laguna del conjunto "El Tesoro" en Coatzacoalcos, Ver., se tienen tiempos de retención de 2.5 h; adicionalmente, las características de permeabilidad del suelo arenoso y la cercanía con el mar, limita la instalación de este tipo de proceso.

Generalmente la oxidación biológica, en lagunas bajo condiciones naturales, demanda tiempos de retención de hasta 60 días, lo cual es una de las principales limitantes del proceso, debido a la extensión de terreno que esto implica. Otro factor limitante para el empleo de este proceso, es la distancia mínima que debe guardar la laguna, con respecto al centro urbano ( 1.6 km, EPA, 1977).

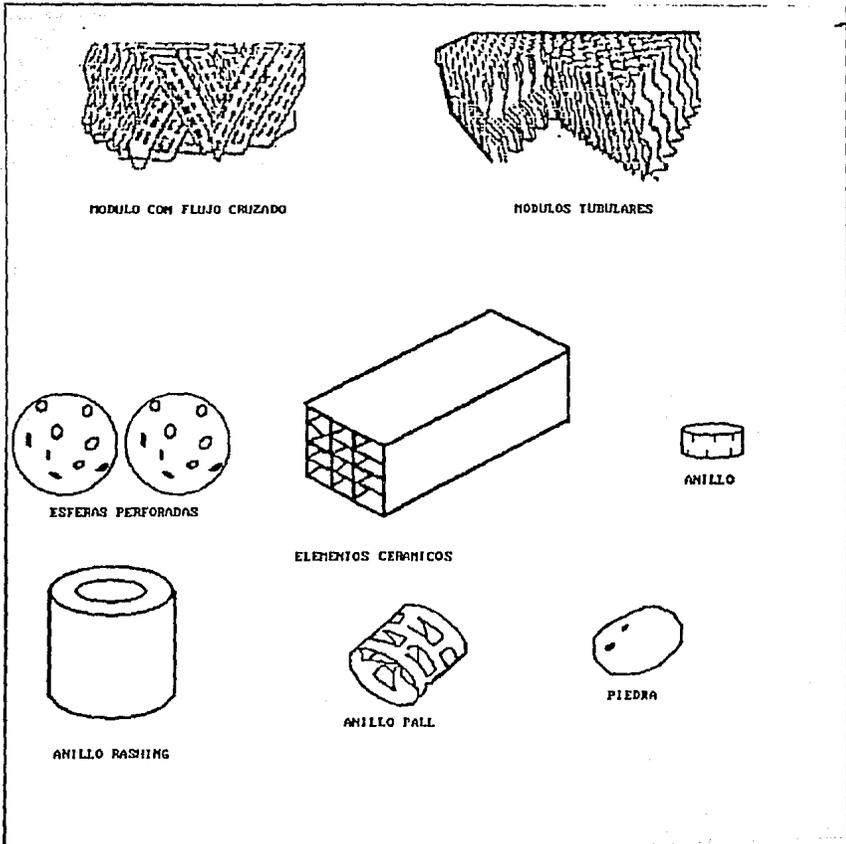


FIG. 6.5 Distintos tipos de empaques.

Debido a que las fosas sépticas son sistemas que básicamente remueven sólidos suspendidos, es necesario mejorar la calidad del efluente para disponerlo en cuerpos de agua. Una forma de aprovechar la infraestructura existente, es "optimizar" las fosas sépticas.

La optimización consiste en un tanque con tres compartimientos. El primero sirve como receptor de sólidos gruesos contenidos en el agua residual. El segundo está orientado a la hidrólisis o predigestión de la materia orgánica en suspensión o disuelta y el tercero, es un compartimiento empacado que remueve la materia orgánica disuelta y en suspensión remanente de los módulos anteriores. Es posible incluir dentro de la configuración de la fosa "optimizada", una filtración con zeolita para eliminar nitrógeno amoniacal.

## 7. CONCLUSIONES

Con base en las variables o factores técnicos a ser considerados en la construcción de sistemas de tratamiento, se concluye para el caso de unidades habitacionales del INFONAVIT:

- Las fallas encontradas en los sistemas fueron causadas fundamentalmente, por falta de un soporte técnico y administrativo.
- No existe una relación estrecha entre contratista y contratante (constructor e INFONAVIT); es decir, se construye un sistema de tratamiento, y al concluir éste, termina la relación entre ambos, sin reparar en el futuro funcionamiento de la obra.
- En la inspección física de los sistemas, es indudable que se carece de una adecuada supervisión de la obra; hasta incluso, se aprecia el desconocimiento del proceso en su construcción.
- No existe un esquema administrativo en la operación y mantenimiento de los sistemas (a excepción de Acapulco, Gro.).

Ya que el INFONAVIT tiene una infraestructura de tratamiento instalada, se recomiendan las siguientes alternativas para su rehabilitación:

- Para los tanques Imhoff, se propone la conversión a reactores tipo UASB. Dicha conversión, estará sujeta a la experimentación previa, en la que se determinarán sus variables de diseño y sus características hidrodinámicas, desde el punto de vista de proceso.

- Para los filtros percoladores, se propone el cambio del medio de soporte por empaque de flujo cruzado, el cual ofrece una mayor relación área/volumen ( $140 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) y un incremento teórico en la remoción de DBO del 20%.
- No se recomiendan lagunas para conjuntos habitacionales, dadas las limitantes en cuanto a área disponible y en cuanto a malos olores y generación de insectos.
- Debido a que las fosas sépticas son procesos que sólo remueven sólidos suspendidos, se recomienda optimizarlas con tres compartimientos (receptor de sólidos, hidrólisis, empaquetado y filtración con zeolita) para mejorar la calidad del efluente.
- Para que las adecuaciones descritas tengan éxito, es necesario incorporar una figura u organismo (gubernamental o privado), que administre, opere y mantenga en funcionamiento las instalaciones de tratamiento. Sin este organismo, las modificaciones a las plantas de tratamiento, estarán condenadas al abandono nuevamente.
- Finalmente, se deberán establecer los mecanismos, en función de un contrato, para deslindar responsabilidades en cuanto a diseño, construcción, supervisión, operación y mantenimiento de una obra de tratamiento de aguas residuales. Esto tiene como objetivo, construir obras de saneamiento, en un futuro, funcionales y con un nivel de tratamiento, de acuerdo a las Normas establecidas para el control de la calidad de los cuerpos de agua.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

Auvinet G., Esquivel R. (1986) "Impermeabilización de Lagunas Artificiales", SMMS, AC; Ed. Limusa, México.

Barragán E.L. (1988) "La Descentralización Urbana y el Sistema de Ciudades en México". Encuentro de Expertos de Urbanismo. Cuadernos de Extensión Académica, No. 44. UNAM, México.

Comec, SA (1972) "Proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras (Texcoco), México.

David Gidí A.F. (1991) CONACYT "Información Científica y Tecnológica" Vol. 13 No.173.

Deméneghi A., Pozas M. y Puebla M. (1989) "Apuntes de Geotecnia II" División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, UNAM.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1990) "Manual de Tratamiento de Aguas Negras" Ed. Limusa, Noriega.

División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica (1991) "Legislación Nacional en Materia de Impacto Ambiental" Facultad de Ingeniería, UNAM.

Environmental Protection Agency (1977) "Process Design Manual: Wastewater Treatment Facilities for Sewered Small Communities" EPA-625/1-77-009

Gaceta Oficial del DDF (1987) "Reglamento de Construcciones para el DF".

Geotec S.A. (1973) "Alternativa para la Cimentación de la PTAN en el Lago de Texcoco", México.

Goebel E. (1981), "La Corrosión del Concreto en la Industria Química", V Congreso del Colegio de Ingenieros Civiles, Veracruz, Ver., México.

IMCYC, (1981) "Aditivos Superfluidificantes para Concreto". México.

IMCYC, (1983) "Práctica para Dosificar Concreto Normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo". México

IMCYC, (1984) "Estructuras de Concreto para el Mejoramiento del Medio Ambiente". México.

IMCYC, (1988) "Durabilidad del Concreto (ACI-201)", Nueva Serie, No. 20, Ed. Limusa, México.

Juárez B.E. y Rico R.A. (1989) "Mecánica de Suelos" Tomo II, Ed. Limusa.

Lama G.M. (1988) "Alternativas para el Reuso del Agua en México" Encuentro de Expertos de Urbanismo. Cuadernos de Extensión Académica, No. 44, UNAM, México.

Mataix C. (1982) "Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas" Ed. Harla.

Metcalf & Eddy Inc. (1991) "Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse" Ed. McGraw-Hill. Tercera edición.

MIAPSA (1989) "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales", Cuautla, Mor., Gob. de Morelos, México.

Murillo F.R. (1983) "Proyecto Geotécnico para las Lagunas Facultativas con recirculación". Comisión del Lago de Texcoco, SARH, México.

Murillo F.R. (1984) "Comportamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras". Obras recientes en el Lago de Texcoco, SMMS,AC, México.

Murillo F.R., Hernández R.A. (1986) "Diseño Geotécnico de la Planta de Aireación a Contracorriente". Comisión del Lago de Texcoco, SARH, México.

Murillo F.R. (1987) "Proyecto Geotécnico para la Construcción de la Planta Piloto de Tratamiento Terciario". Comisión del Lago de Texcoco, SARH, México.

Murillo F.R., Aguirre M.J. (1990) "Nota Técnica de la Visita al Bordo de Regularización de Aguas Negras de la Ciudad La Paz y Lagunas Aireadas de Tijuana", Consultivo Técnico, IMTA, CNA, México.

Noyola R.A. y Briones M.R. (1990) "Obtención de Energía y Recuperación de Recursos a partir de los Desechos Orgánicos del Corredor Turístico Cancún-Tulum". Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Noyola R.A., Vega G.E., Morgan S.J.M., Ramos H.J.G., Sámano C.J.S. y Saucedo M.A. (1992) "Diagnóstico y Propuestas de Diseño y Operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Pertenecientes a los Conjuntos Habitacionales del INFONAVIT" Instituto de Ingeniería, UNAM, Vol. I y II, México.

Palange R.C. y Zavala A. (1989) "Control de la Contaminación del Agua: Guías para la Planificación y Financiamiento de Proyectos" Documento Técnico del Banco Mundial, No. 73S.

Sánchez M.V.M., Verdiguél G.H., López L.A y Alvarez F.J.L. (1988) "Evaluación del Sistema Electromecánico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cd. Universitaria" Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Sancho y Cervera J. (1991) "Problemática y Decisión Política" Agua Limpia: Estrategia Nacional. Memoria de la 3ª Mesa Redonda sobre Ingeniería y Medio Ambiente, cuadernos técnicos **CICM** No. 3, Colegio de Ingenieros Civiles de México, México.

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1979) "Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales".

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1990) "Gaceta Ecológica" Vol. II, No. 6, CE-CCA-001/89.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1991) "Gaceta Ecológica" Vol. III, No. 17, NTE-CCA-031/91 y NTE-CCA-032/91.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (1962) "Especificaciones Generales y Técnicas de Construcción" Tomos I y II.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (1964) "Especificaciones Generales y Técnicas de Construcción" Tomo IV.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (1979) "Mejoramiento Masivo de Suelos", México.

SC y FI (1980) "Norma Oficial Mexicana NOM-C-1-1980, Industria de la Construcción Cemento Portland", México.

SC y FI (1986) "Norma Oficial Mexicana NOM-C-2-1986), Cemento Portland Puzolana", México.

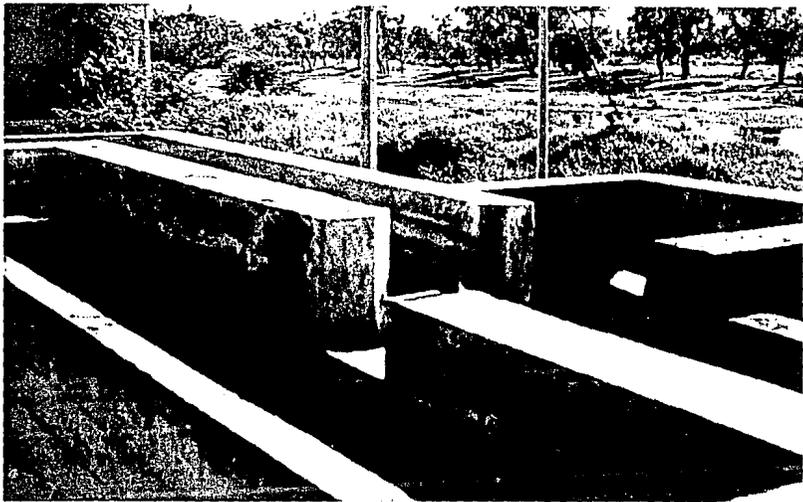
SRH (1970), "Manual de Concreto Parte I", México.

TAI (The Asphalt Institute) (1961) "Asphalt in Hydraulic Structures", pp. 18-19, Maryland, USA.

Valenzuela M.L. (1992) "El Pago por Derechos de Descargas de Aguas Residuales" Federalismo y Desarrollo, No. 33, Banobras, México.

## **ANEXO 1**

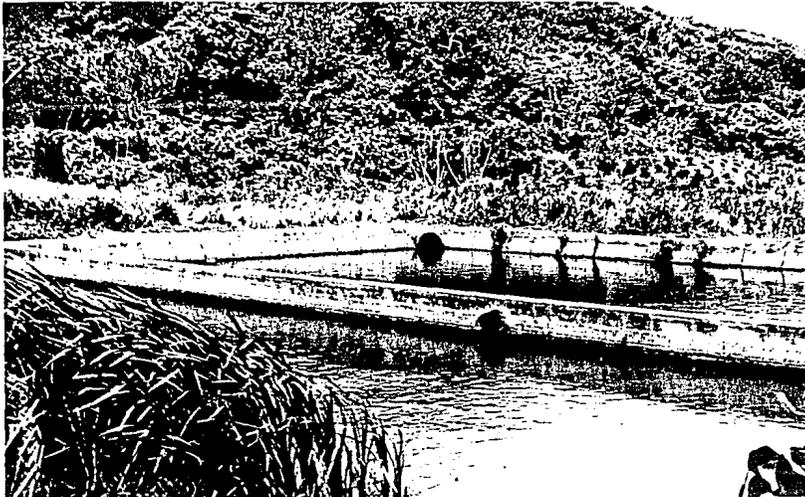
### **FOTOGRAFIAS**



FOTOGRAFIA 6.1 AUSENCIA DE COMPUERTAS DIRECTORAS



FOTOGRAFIA 6.2 ESTADO ACTUAL DE ABANDONO



FOTOGRAFIA 6.3 VISTA DE LA LAGUNA



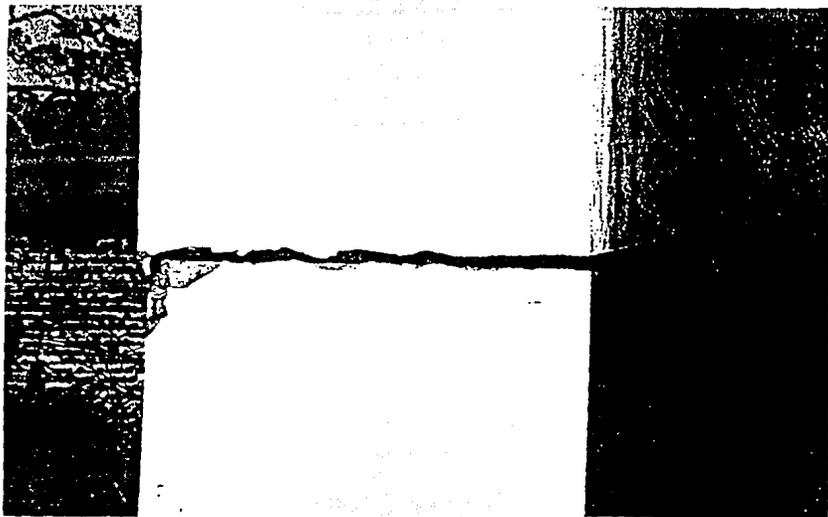
FOTOGRAFIA 6.4 VISTA SUPERIOR DE LA PLANTA Y SU CERCANIA AL RIO CAZONES



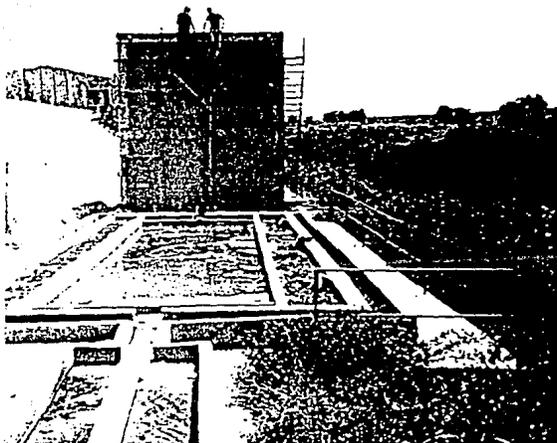
FOTOGRAFIA 6.5 NIVEL ALCANZADO EN EPOCA DE LLUVIAS EN UNA DE LAS PAREDES DEL TANQUE



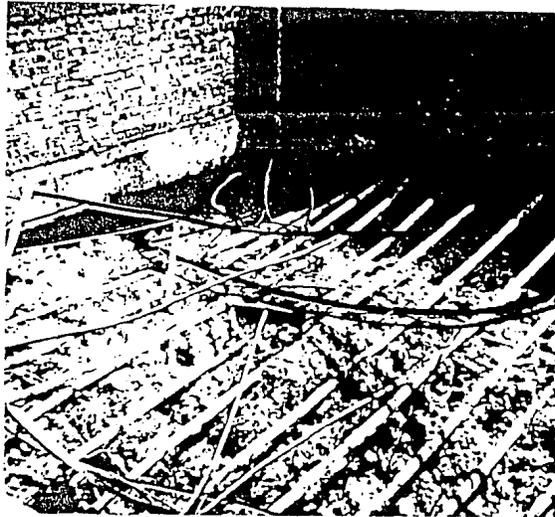
FOTOGRAFIA 6.6 PROBLEMAS DE INUNDACION EN LAS UNIDADES HABITACIONALES



FOTOGRAFIA 6.7 POSIBLE FALLA POR FLOTACION



FOTOGRAFIA 6.8 VISTA DEL FILTRO PERCOLADOR



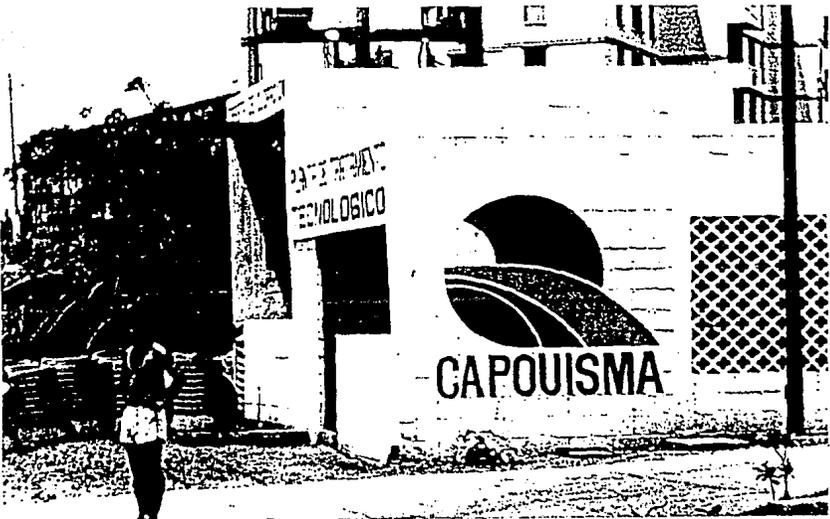
FOTOGRAFIA 6.9 ESTRUCTURA DE DISTRIBUCION CAIDA



FOTOGRAFIA 6.10 ASPECTO DE LAS PASARELAS



FOTOGRAFIA 6.11 DEFLEXIONES APRECIABLES



FOTOGRAFIA 6.12 ORGANISMO OPERADOR RESPONSABLE EN ACAPULCO

## **ANEXO 2**

### **CUESTIONARIO**

INSTITUTO DE INGENIERIA  
U.N.A.M.

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE DISEÑO Y OPERACION DE LAS PLANTAS  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PERTENECIENTES A LOS CONJUNTOS  
HABITACIONALES DEL INFONAVIT.  
(PROYECTO 2306)

CUESTIONARIO DE CAMPO.  
(ASPECTO CIVIL).

NOMBRE DE LA PLANTA: \_\_\_\_\_

LOCALIZACION: \_\_\_\_\_

UBICACION: \_\_\_\_\_

TIPO DE PLANTA: \_\_\_\_\_

FECHA DE VISITA: \_\_\_\_\_

HORA DE VISITA: \_\_\_\_\_

RECABO INFORMACION: \_\_\_\_\_

**CONDICIONES CLIMATICAS Y METEOROLOGICAS.**

1.- Tipo de clima:

---

2.- Precipitación media anual:

---

3.- Temperatura media anual:

---

4.- Altura sobre el nivel del mar:

---

5.- Presión atmosférica:

---

6.- Observaciones adicionales:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**TOPOGRAFIA.**

1.- Características topográficas del terreno:

Accidentado \_\_\_\_\_ Plano \_\_\_\_\_ Otra \_\_\_\_\_

2.- Taludes junto a la planta:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

3.- Sistema hidráulico operando por gravedad:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ Algunas partes \_\_\_\_\_

4.- Número de bombeos utilizados en la planta:

\_\_\_\_\_

5.- Partes del sistema operando por gravedad:

\_\_\_\_\_

6.- Partes del sistema operando por bombeo:

\_\_\_\_\_

7.- Observaciones adicionales:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**CONDICIONES GEOTECNICAS.**

1.- Tipo de suelo:

---

2.- Profundidad del nivel freático:

---

3.- Estudio de mecánica de suelos:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ No se requiere \_\_\_\_\_

4.- Deformación apreciable en la estructura de algún proceso:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

5.- Mencione la(s) estructura(s) deformada(s):

---

6.- Hundimiento apreciable en la estructura de algún proceso:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

7.- Mencione la(s) estructura(s) hundida(s):

---

8.- Observaciones adicionales:

---

---

---

---

---

---

---

*CONSIDERACIONES DE UNA PLANTA.*

1.- Planos de alcantarillado de la Unidad habitacional:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

2.- Sistema de alcantarillado:

Sanitario \_\_\_\_\_ Pluvial \_\_\_\_\_ Combinado \_\_\_\_\_

3.- Tanque regulador de tormentas:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

4.- Descarga directa al cuerpo receptor (sin tratar):

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

	Si hay	No hay
5.- Rejillas:	_____	_____
6.- Cárcamo de bombeo:	_____	_____
7.- Desarenador:	_____	_____
8.- Medidor de flujo:	_____	_____
9.- Sedimentador primario:	_____	_____
10.- Reactor biológico:	_____	_____
11.- Sedimentador secundario:	_____	_____
12.- Sistema de filtración:	_____	_____
13.- Desinfección:	_____	_____
14.- Laboratorio:	_____	_____
15.- Observaciones adicionales:		

---

---

---

---

*ANALISIS POR TREN DE TRATAMIENTO.*

*CARCAMO DE BOMBEO.*

1.- Cota hidráulica (diseño):

---

2.- Dimensiones del cárcamo:

---

3.- Grietas apreciables:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

4.- Estado de la tubería de conducción:

Bueno \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Malo \_\_\_\_\_

5.- Estado general de la estructura:

Bueno \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Malo \_\_\_\_\_

6.- Tipo y número de bombas utilizadas:

---

7.- Características de la(s) bomba(s):

---

---

8.- Observaciones adicionales:

---

---

---

---

---

**REJILLAS.**

1.- Cota hidráulica antes y después de las rejillas (diseño):

Antes \_\_\_\_\_ Después \_\_\_\_\_

2.- Número de rejillas existentes:

\_\_\_\_\_

3.- Dimensiones de las rejillas:

\_\_\_\_\_

4.- Tipo de limpieza de rejillas:

Manual \_\_\_\_\_ Mecánica \_\_\_\_\_ Otra \_\_\_\_\_

5.- Condición física de las rejillas:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

6.- Observaciones adicionales:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**DESARENADOR.**

1.- Cota hidráulica (diseño):

---

2.- Dimensiones del tanque:

---

3.- Velocidad del flujo:

---

4.- Existe(n) vertedor(es) proporcional(es):

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

5.- Tiene grietas la estructura:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

6.- Fugas apreciables:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

7.- Condición general de la estructura:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

8.- Observaciones adicionales:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

*MEDIDOR DE FLUJO.*

1.- Número de medidores de flujo existentes:

\_\_\_\_\_

2.- Tipo de medidor(es) existente(es) en la planta:

\_\_\_\_\_

3.- Gasto de diseño de la planta:

\_\_\_\_\_

4.- Gasto con que está operando la planta:

\_\_\_\_\_

5.- Condición del(os) medidor(es) de flujo:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

6.- Observaciones adicionales:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**SEDIMENTADOR PRIMARIO.**

1.- Cota hidráulica (diseño):

\_\_\_\_\_

2.- Número de unidades:

\_\_\_\_\_

3.- Dimensiones de la(s) estructura(s):

\_\_\_\_\_

4.- Tiene rastras el sedimentador:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ Fuera de operación \_\_\_\_\_

5.- Condición de las rastras:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

6.- Existen grietas en la estructura:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

7.- Existen fugas en la estructura:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

8.- Recirculación de sólidos sedimentados:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

9.- Sistema de subdrenaje:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ No funciona \_\_\_\_\_

10.- Tipo de cimentación:

\_\_\_\_\_

11.- Hundimiento apreciable:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

12.- Condición general de la estructura:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

13.- Observaciones adicionales:

---

---

---

---

---

*REACTOR BIOLÓGICO.*

1.- Cota hidráulica (diseño):

---

2.- Tipo de reactor:

---

3.- Número de unidades:

---

4.- Dimensiones:

---

5.- Grietas apreciables:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

6.- Fugas apreciables:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

7.- Recirculación de lodos biológicos:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

8.- Sistema de subdrenaje:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ No funciona \_\_\_\_\_



**SEDIMENTADOR SECUNDARIO.**

1.- Cota hidráulica (diseño):

---

2.- Número de unidades:

---

3.- Dimensiones:

---

4.- Existen rastras en el(los) sedimentador(es):

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ Fuera de operación \_\_\_\_\_

5.- Condición de las rastras:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

6.- Grietas existentes:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

7.- Fugas existentes:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

8.- Hundimiento apreciable:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

9.- Tipo de cimentación:

\_\_\_\_\_

10.- Destino de lodos en exceso:

Digestión \_\_\_\_\_ Secado \_\_\_\_\_ Drenaje \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

11.- Sistema de subdrenaje:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ No funciona \_\_\_\_\_

12.- Condición general de la estructura:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

13.- Observaciones adicionales:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**SISTEMA DE FILTRACION.**

1.- Dimensiones de tanque(s) de filtrado:

\_\_\_\_\_

2.- Número de unidades:

\_\_\_\_\_

3.- Tipo de filtración:

Rápida \_\_\_\_\_ Lenta \_\_\_\_\_ Por contacto \_\_\_\_\_ Otra \_\_\_\_\_

4.- Grietas existentes en la estructura:

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

5.- Fugas en la estructura:

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

6.- Granulometrías del material filtrante (promedio):

Grava \_\_\_\_\_ Arena \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

7.- Número de capas de cada material:

Grava \_\_\_\_\_ Arena \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

8.- Tipo de floculante utilizado:

\_\_\_\_\_

9.- Condición general de la estructura:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

10.- Observaciones adicionales:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DESINFECCION.**

1.- Tipo de desinfección:

Gas cloro \_\_\_\_\_ Compuesto de cloro \_\_\_\_\_ Luz ultravioleta \_\_\_\_\_  
Ozono \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

2.- Dimensiones del tanque de contacto:

\_\_\_\_\_

3.- Dosificación máxima (diaria ó promedio):

\_\_\_\_\_

4.- Número de tanques abastecedores de cloro:

\_\_\_\_\_

5.- Grietas en la estructura:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

6.- Fugas de algún tipo:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

7.- Hundimiento apreciable:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

8.- Tipo de cimentación:

\_\_\_\_\_

9.- Condición general de la estructura:

Buena \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Mala \_\_\_\_\_

10.- Observaciones adicionales:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**LABORATORIO.**

1.- Ubicación dentro de la planta:

\_\_\_\_\_

2.- Análisis diarios:

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

3.- De qué parámetros:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4.- Parámetros que se determinan en el laboratorio:

DBO<sub>5-20</sub> \_\_\_\_\_ OD \_\_\_\_\_ DQO \_\_\_\_\_ pH \_\_\_\_\_ Alcalinidad \_\_\_\_\_

SST \_\_\_\_\_ SDT \_\_\_\_\_ SST \_\_\_\_\_ SS \_\_\_\_\_ Turbiedad \_\_\_\_\_

Color \_\_\_\_\_ Coliformes \_\_\_\_\_ Metales \_\_\_\_\_ Cloruros \_\_\_\_\_

Conductividad \_\_\_\_\_ N-NH<sub>3</sub> \_\_\_\_\_ N-TOT \_\_\_\_\_ SAAM \_\_\_\_\_

Grasas y aceites \_\_\_\_\_ Otros \_\_\_\_\_

5.- Tipo de cimentación:

\_\_\_\_\_

6.- Condición general de la estructura:

\_\_\_\_\_

7.- Observaciones adicionales:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

DIBUJAR ESQUEMATICAMENTE EL DIAGRAMA  
DE FLUJO DE LA PLANTA.

DIBUJAR EN FORMA APROXIMADA EL PERFIL  
HIDRAULICO DE LOS PROCESOS.