

391



---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA  
DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS  
*"IN SITU"*

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA

MIRIAM EVELIA TELLEZ BALLESTEROS



MÉXICO, D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



---

## DEDICATORIAS

### A DIOS

"TODO LO PUEDO EN CRISTO QUE ME FORTALECE"

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, por permitir que desarrollara mis actividades académicas en sus instalaciones.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA, porque en ella además de aprender la forma de desarrollarme en mi vida profesional, en ella encontré buenos amigos.

AL INSTITUTO DE INGENIERÍA, donde desarrollé este trabajo. Al Dr. Adalberto Noyola, por apoyar el desarrollo de este trabajo.

**Con todo mi cariño, respeto y admiración.**

**A MIS PADRES : Evelia y Rubén**

**A MIS HERMANAS : Paola, Kena, Susi y Ruth**

A MIS ABUELITOS : Juanita, Valente y María

A MIS TÍOS

A mi Tía Leonor, por su cariño y apoyo

A Miriam Robledo, mi gran amiga y su familia, por su compañía y apoyo

A Israel, por lo que significas en mi vida

A MIS INOLVIDABLES MAESTRAS Y MAESTROS DEL COLEGIO DEL VALLE DE MÉXICO, donde me inculcaron el hábito de estudio y el respeto a mí misma, pero sobre todo, porque formaron las bases de lo que ahora soy.

A MIS AMIGAS Y MAESTRAS DEL CCH SUR, sí llegamos. Por su apoyo incondicional, su paciencia, pero sobre todo, por su cariño.

A MIS AMIGOS Y MAESTROS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN 92 , por compartir 5 inolvidables años de mi vida.

A MIS BUENOS AMIGOS DE LA FACULTAD : Yoli, Felipe y la Bebé.

A TODOS MIS BUENOS AMIGOS DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, con quienes compartí buenos momentos : Ma. Elena, Norma, Esperanza (y el bebé), Uriel, Noé, Oscar, Pepe (por su paciencia), Adriana, Luci, Adri, Laurita, Miguel.

---

# CONTENIDO

LISTA DE TABLAS  
LISTA DE FIGURAS  
RESUMEN  
INTRODUCCIÓN

*Página*

## CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LA DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES

1.1 Alcantarillado	
1.1.1 Alcantarillado sanitario	3
1.1.1.1 Proyecto de un sistema de alcantarillado sanitario	9
1.1.2 Acceso limitado al alcantarillado sanitario	10
1.2 Tratamiento "in situ"	
1.2.1 Domiciliario	13
1.2.2 Comunal	13
1.2.3 Institucional	13

## CAPÍTULO 2. CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES DE SELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU"

2.1 Componentes de los Procesos de Tratamiento	17
2.1.1 Operaciones y Procesos Unitarios	17
2.1.2 Sistemas de Biomasa Fija	22
2.1.3 Factores a considerar en la selección del sistema de tratamiento	23
2.2 Tratamiento Primario	27
2.2.1 Fosas Sépticas	27
2.2.2 Fosa séptica doble cámara	30
2.2.3 Fosa tipo Imhoff	32
2.2.4 Fosas sépticas prefabricadas	
2.2.4.1 Fosas activadas <i>DYSA</i>	34
2.2.4.2 Rotoplas	36
2.2.4.3 <i>SANIMEX MONTIEL</i>	36
2.2.5 Tanque Imhoff	37
2.3 Tratamiento secundario	40
2.3.1 Filtro Biológico	
2.3.1.1 <i>AERO-PAQ C</i>	41
2.3.1.2 Proceso <i>FILTACLERE-P</i>	43
2.3.1.3 <i>Bioclere</i>	44
2.3.1.4 Planta de tratamiento <i>EKOFINN BIOCLERE</i>	46
2.3.1.5 Filtro Sumergido de Película Fija	47
2.3.1.6 Bioreactor Anaerobio Integrado	48
2.3.2 Tratamiento de aguas residuales por aireación extendida	49
2.3.2.1 Lodos activados <i>Cromoglass</i>	50
2.3.2.2 <i>PERMEX</i>	53
2.3.2.3 Estación <i>BIOTRIT</i>	54
2.3.2.4 Aireación Extendida	55
2.3.3 Proceso R.B.C.	57
2.3.4 Planta de tratamiento Anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland)	60

### **CAPÍTULO 3. CALIDAD DEL EFLUENTE TRATADO**

3.1 Norma Oficial Mexicana - 001 (NOM-001-ECOL-1996)	64
3.2 Sanciones	68

### **CAPÍTULO 4. MÉTODOS DE DISPOSICIÓN DEL EFLUENTE**

4.1 Cuerpo Receptor	
4.1.1 Disposición en el terreno	70
4.1.2 Disposición en un cuerpo de agua superficial	77
4.1.2.1 Vertido a lagos	77
4.1.2.2 Vertido en ríos	77
4.1.2.3 Vertido al mar	78
4.2 Reúso	79

### **CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU"**

5.1 Procesos de tratamiento	
5.1.1 Tratamiento primario	
5.1.1.1 Fosas Sépticas	82
5.1.1.2 Fosa Séptica Doble Cámara	82
5.1.1.3 Fosa tipo Imhoff	82
5.1.1.4 Tanque Imhoff	83
5.1.2 Tratamiento secundario	
5.1.2.1 Filtro Biológico	
5.1.2.1.a AERO-PAQ C	83
5.1.2.1.b Proceso FILTACLERE-P	84
5.1.2.1.c Planta de tratamiento EKOFFIN BIOCLERE	84
5.1.2.1.d Filtro Sumergido de Película Fija.	85
5.1.2.1.e Bioreactor Anaerobio Integrado	86
5.1.2.2 Lodos activados tipo SBR. Cromoglass	87
5.1.2.3 Tratamiento de aguas residuales por aireación extendida	88
5.1.2.3.a PERMEX Depumaster	89
5.1.2.3.b Aireación Extendida	90
5.1.2.4 Proceso R.B.C.	90
5.1.2.5 Planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland)	91
5.2 Resultados de la factibilidad técnica	93
5.2.1 Diagramas de bloques de proceso	98
5.2.1.1 Trenes de tratamiento de los procesos seleccionados	98

**CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU"**

6.1 Estimación de costos	119
6.1.1 Estimaciones globales	119
6.1.2 Estimaciones por comparaciones	119
6.1.3 Estimaciones mediante actualización de precios	120
6.1.4 Estimaciones mediante catálogos y cotizaciones preliminares	120
6.1.5 Estimaciones mediante precios unitarios y cotizaciones definitivas	121
6.2 Factores a considerar en la estimación de costos	121
6.3 Ajuste de costos	122
6.4 Costos de Inversión	123
6.4.1 Obra Civil	124
6.4.2 Costos de inversión por tren de tratamiento	129
6.4.3 Costos de operación y mantenimiento	132
6.4.2.1 Compuestos químicos	133
6.4.2.2 Energía	135
6.4.2.3 Personal	136
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>139</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>141</b>

## LISTA DE TABLAS

	<i>Página</i>
TABLA 1.1 ESTIMACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO POR TAMAÑO DE LOCALIDAD, PARA MÉXICO EN 1995.	4
TABLA 1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO	6
TABLA 1.3 TIPOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS ALCANTARILLAS EN UNA RED DE ALCANTARILLADO TÍPICA	7
TABLA 1.4 PENDIENTES MÁXIMAS Y MÍNIMAS PARA TUBERÍAS DE UNA RED DE ALCANTARILLADO.	9
TABLA 1.5 PENDIENTES MÍNIMAS PARA LAS ALCANTARILLAS SANITARIAS.	11
TABLA 1.6 GASTOS DE AGUAS NEGRAS DE DIFERENTES FUENTES.	14
TABLA 1.7 CONSUMOS DE AGUA PARA DIFERENTES FINES.	14
TABLA 1.8 COMPOSICIÓN DE UN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.	15
TABLA 2.1 TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	19
TABLA 2.2 OPERACIONES, PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO USADOS PARA REMOVER LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES PRESENTES EN UNA AGUA RESIDUAL MUNICIPAL.	21
TABLA 2.3 PRINCIPALES REACTORES BIOLÓGICOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	22
TABLA 2.4 PRINCIPALES PROCESOS BIOLÓGICOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO " <i>IN SITU</i> " DEL AGUA RESIDUAL	23
TABLA 2.5 APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO " <i>IN SITU</i> " DISPONIBLES EN EL MERCADO	25
TABLA 2.6 UNIDADES DE TRATAMIENTO " <i>IN SITU</i> " EXISTENTES EN EL MERCADO	26
TABLA 2.7 CAPACIDAD Y DIMENSIONES DE FOSA SÉPTICA PARA SERVICIO DOMÉSTICO	29
TABLA 2.8 CANTIDAD DE MATERIALES A EMPLEAR EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA FOSA SÉPTICA, EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS	29
TABLA 2.9 CUADRO DE DIMENSIONES PARA FOSA SÉPTICA DE DOBLE CÁMARA	31

TABLA 2.10	CANTIDAD DE MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA FOSA SÉPTICA DOBLE CÁMARA, EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS	32
TABLA 2.11	DIMENSIONES REQUERIDAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA FOSA TIPO IMHOFF	33
TABLA 2.12	DIMENSIONES DE FOSAS ACTIVADAS DYSA	36
TABLA 2.13	LISTA DE CAPACIDADES Y MEDIDAS SANIMEX-MONTIEL	37
TABLA 2.14	CANTIDAD DE MATERIALES A EMPLEAR EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE IMHOFF, EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS	39
TABLA 2.15	DIMENSIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE IMHOFF	40
TABLA 2.16	MODELOS DE <i>BIOCLERE</i>	45
TABLA 2.17	REQUERIMIENTOS Y CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA PAQUETE <i>EKOFINN BIOCLERE</i>	46
TABLA 2.18	DIMENSIONES BÁSICAS DEL SISTEMA EN FUNCIÓN DEL FLUJO DE DISEÑO	47
TABLA 2.19	TABLA DE SELECCIÓN DEL SISTEMA BRAIN, PARA HABITACIÓN UNIFAMILIAR Y COMUNAL	48
TABLA 2.20	ESPECIFICACIONES ADICIONALES DEL SISTEMA <i>CROMOGLASS</i>	51
TABLA 2.21	MATERIALES PARA LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO <i>CROMOGLASS</i>	52
TABLA 2.22	MODELOS DE <i>PERMEX</i>	54
TABLA 2.23	DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN <i>BIOTRIT</i> , EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS	55
TABLA 2.24	CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS DE PLANTAS PAQUETE AIREACIÓN EXTENDIDA	56
TABLA 2.25	DIMENSIONES DE LAS PLANTAS PAQUETE DE BIODISCOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	58
TABLA 2.26	ÁREA MÍNIMA REQUERIDA POR EL ENTRAMADO BIOLÓGICO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO	61
TABLA 3.1	FECHAS DE CUMPLIMIENTO DE LA NOM-001-ECOL-1996, PARA LOS RESPONSABLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	65
TABLA 3.2	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS	66
TABLA 3.3	CUMPLIMIENTO DE LA NORMA (NOM-001-ECOL-1996) DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO " <i>IN SITU</i> " DISPONIBLES EN EL MERCADO	67

*Evaluación técnico-económica de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias "in situ"*

TABLA 4.1	DISTANCIAS MÍNIMAS REQUERIDAS PARA LA UBICACIÓN DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO	70
TABLA 4.2	TASA DE INFILTRACIÓN DEL EFLUENTE	73
TABLA 4.3	DISPOSICIÓN DEL EFLUENTE EN FUNCIÓN DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	79
TABLA 4.4	MÉTODOS DE DISPOSICIÓN RECOMENDADOS PARA LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU"	81
TABLA 5.1	COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS DE REMOCIÓN OBTENIDAS AL TÉRMINO DE CADA PROCESO	93
TABLA 5.2	ÁREAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS REQUERIDAS POR LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE CADA PROCESO, ASÍ COMO LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN REQUERIDOS Y NÚMERO DE USUARIOS QUE ADMITE LA UNIDAD.	94
TABLA 5.3	UNIDADES QUE EMPLEA CADA SISTEMA DE TRATAMIENTO, ASÍ COMO LOS PROCESOS QUE PERMITEN LA DEGRADACIÓN DE LOS ELEMENTOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMICILIARIO	95
TABLA 5.4	REQUERIMIENTOS DE MANTENIMIENTO, ALTURA DEL NAF Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.	96
TABLA 5.5	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE FOSA SÉPTICA	103
TABLA 5.6	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE AIREACIÓN EXTENDIDA	106
TABLA 5.7	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO <i>EKOFINN BIOCLERE</i>	109
TABLA 5.8	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DEL FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FIJA.	112
TABLA 5.9	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES	115
TABLA 5.10	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DEL BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO	117
TABLA 5.11	UNIDADES QUE CONFORMAN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	118
TABLA 6.1	INDICES DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN/MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SEGÚN LA AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (EPA)	123

TABLA 6.2	VOLÚMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACIÓN A LA FOSA SÉPTICA, PARA DIFERENTES CAUDALES	125
TABLA 6.3	VOLÚMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACIÓN A LA FOSA SÉPTICA PREFABRICADA (SANIMEX-MONTIEL), PARA DIFERENTES CAUDALES	125
TABLA 6.4	SE INDICAN LAS UNIDADES QUE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE AIREACIÓN EXTENDIDA EN SU CONFIGURACIÓN	126
TABLA 6.5	SE INDICAN LAS UNIDADES QUE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE LA PLANTA DE TRATAMIENTO EKOFINN BIOCLERE (FILTROS BIOLÓGICOS) EN SU CONFIGURACIÓN	126
TABLA 6.6	SE INDICAN LAS UNIDADES QUE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EL FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FIJA EN SU CONFIGURACIÓN.	127
TABLA 6.7	SE INDICAN LAS UNIDADES QUE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES EN SU CONFIGURACIÓN	127
TABLA 6.8	SE INDICAN LAS UNIDADES QUE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EL BIOREACTOR ANAEROBIO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES EN SU CONFIGURACIÓN	128
TABLA 6.9	COSTO DE INVERSIÓN POR OBRA CIVIL DE LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAUDALES	128
TABLA 6.10	COSTOS DEL TREN DE TRATAMIENTO, INCLUYENDO ELEMENTOS FUNDAMENTALES PARA LA OPERACIÓN ADECUADA DEL SISTEMA, PROPORCIONADOS POR EL FABRICANTE	130
TABLA 6.11	COSTOS POR INVERSIÓN INICIAL	131
TABLA 6.12	COSTOS UNITARIOS POR INVERSIÓN INICIAL (\$/M <sup>3</sup> DE AGUA TRATADA)	131
TABLA 6.13	DOSIFICACIÓN DE CLORO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS	133
TABLA 6.14	REQUERIMIENTOS DE HIPOCLORITO DE SODIO (NaOCl) AL 10% EN PESO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS A DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA	134
TABLA 6.15	COSTOS UNITARIOS POR DESINFECCIÓN (HIPOCLORITO DE SODIO AL 10% EN PESO)	135
TABLA 6.16	COSTOS ENERGÉTICOS UNITARIOS EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD	136

TABLA 6.17 COSTOS UNITARIOS POR INVERSIÓN Y OPERACIÓN EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA

## LISTA DE FIGURAS

	<i>Página</i>
FIGURA 1.1 COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL DE ORIGEN MUNICIPAL	1
FIGURA 1.2 DISTRIBUCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y DISUELTOS CONTENIDOS EN UN AGUA RESIDUAL DE ORIGEN DOMÉSTICO	2
FIGURA 1.3 COBERTURA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN MÉXICO.	5
FIGURA 1.4 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ALCANTARILLAS EN UNA RED DE ALCANTARILLADO.	7
FIGURA 1.5 CONEXIÓN PROBLEMÁTICA A LA RED DE ALCANTARILLADO POR NO CONTAR CON DESNIVEL SUFICIENTE.	11
FIGURA 1.6 CONEXIÓN PROBLEMÁTICA A LA RED DE ALCANTARILLADO POR DISTANCIA O TOPOGRAFÍA.	12
FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	20
FIGURA 2.2 FOSA SÉPTICA COMÚN	28
FIGURA 2.3 FOSA SÉPTICA DOBLE CÁMARA	37
FIGURA 2.4 FOSA TIPO IMHOFF	34
FIGURA 2.5 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA FOSA SÉPTICA DYSA	35
FIGURA 2.6 FOSA SÉPTICA SANIMEX-MONTIEL	37
FIGURA 2.7 TANQUE IMHOFF	39
FIGURA 2.8 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS <i>AERO-PAQ C</i>	42
FIGURA 2.9 UNIDAD DE TRATAMIENTO <i>FILTACLERE-P</i>	44
FIGURA 2.10 COMPONENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO <i>BIOCLERE</i>	45
FIGURA 2.11 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AEROBIA CROMOGLASS	52
FIGURA 2.12 ELEMENTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO <i>PERMEX</i>	53
FIGURA 2.13 ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO <i>BIOTRIT</i>	54
FIGURA 2.14 ESQUEMA DE UN PROCESO R.B.C.	59
FIGURA 2.15 REACTOR U.A.S.B.	60

FIGURA 4.1	DISPOSICIÓN SUBSUPERFICIAL DEL EFLUENTE EN TERRENO	71
FIGURA 4.2	ZANJAS DE INFILTRACIÓN PARA CAMPOS DE OXIDACIÓN	74
FIGURA 4.3	FILTROS SUBTERRÁNEOS DE ARENA	75
FIGURA 4.4	POZO DE ABSORCIÓN	76
FIGURA 5.1	OPERACIÓN DEL REACTOR DE CARGA SECUENCIAL	88
FIGURA 5.2	DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO	99
FIGURA 5.3	DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO	100
FIGURA 5.4	FOSA SÉPTICA	102
FIGURA 5.5	AIREACIÓN PROLONGADA. VISTA EN PLANTA Y CORTE DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO	104
FIGURA 5.6	ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. AIREACIÓN PROLONGADA	105
FIGURA 5.7	ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. VISTA EN PLANTA Y CORTE. FILTRO BIOLÓGICO	107
FIGURA 5.8	ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. VISTA EN PLANTA. FILTRO BIOLÓGICO.	108
FIGURA 5.9	ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FIJA.	110
FIGURA 5.10	VISTA EN PLANTA Y CORTE DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO. FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FIJA.	111
FIGURA 5.11	ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. VISTA EN PLANTA. TRATAMIENTO ANAEROBIO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES	113
FIGURA 5.12	ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. CORTE. TRATAMIENTO ANAEROBIO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES.	114
FIGURA 5.13	ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. VISTA EN PLANTA. BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO.	116
FIGURA 6.1	COSTO DE INVERSIÓN (\$), POR OBRA CIVIL PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M <sup>3</sup> /D)	129
FIGURA 6.2	COSTO UNITARIO (\$/M <sup>3</sup> DE AGUA TRATADA), POR COSTO DE INVERSIÓN PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M <sup>3</sup> /D)	132
FIGURA 6.3	DOSIS DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 10% EN PESO (L DE NaOCl/HR), PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA	134

FIGURA 6.4 COSTOS UNITARIOS POR INVERSIÓN Y OPERACIÓN EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA

## **RESUMEN**

El objeto del presente estudio es evaluar técnica y económicamente los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas "in situ" existentes en el mercado nacional, así como proponer los métodos de disposición final del efluente, dependiendo de la calidad de tratamiento requerida (cuerpo receptor ó reúso).

En la presentación de la parte técnica, se realiza una selección de procesos, previa caracterización del agua residual doméstica, por remoción de contaminantes, de acuerdo a la relación entre el tipo de contaminantes y los procesos más aplicados y conocidos para viviendas unifamiliares, pequeñas comunidades (2500 habitantes) e instituciones. De entre los procesos seleccionados: fosa séptica, sistema de aireación extendida, filtro biológico, filtro sumergido de película fija, tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland) y bioreactor anaerobio integrado, se proponen trenes de tratamiento, se cuantifican sus eficiencias y se identifican, de acuerdo a la calidad del efluente, el sitio de descarga permitido, de manera que con el menor grado de complejidad y máxima economía, se obtengan las eficiencias requeridas.

Adicionalmente se estimaron costos de inversión (obra civil y equipamiento) y de operación (requerimientos energéticos, de reactivos químicos y de personal), para los trenes de tratamiento propuestos a diferentes capacidades de planta, para que sirvan como guía general en la selección de procesos.

Finalmente, de las opciones de tratamiento, la fosa séptica (fabricada en sitio y prefabricada) con pulimento es la solución de menor costo, obteniéndose con ésta una calidad del efluente aceptable, con la desventaja de no contar con la posibilidad del reúso, característica que sí proporciona el Bioreactor Anaerobio Integrado, sistema que es el más económico después de la fosa séptica.

## INTRODUCCIÓN

En los países desarrollados la población cuenta con un servicio de abastecimiento de agua potable con un alto estándar de calidad así como una adecuada cobertura en la recolección, tratamiento y eliminación de las aguas residuales. En general, la infraestructura de saneamiento básico está bien desarrollada, y por otro lado, dado que estos países tienen un bajo índice de crecimiento poblacional, regularmente las demandas en estos servicios no son excesivas.

El panorama es muy diferente en los países en desarrollo, donde cerca de 2 000 millones de personas no cuentan con agua segura y saneamiento adecuado; esto significa que cerca del 70% de los habitantes de estos países no disponen de servicios básicos (Metcalf & Eddy, 1985). El costo para rectificar esta situación es muy alto, tanto en dinero como en capacitación de recursos humanos. Es importante observar que para reducir las muertes por enfermedades hídricas, se debe mejorar tanto el abastecimiento de agua como el saneamiento, aunque desafortunadamente, con frecuencia se descuida este aspecto en favor de las obras de abastecimiento de agua que son más valoradas políticamente. Es igualmente importante entender que la construcción de instalaciones modernas al estilo de un país desarrollado, como suele ser el caso de aquellas que son donadas por gobiernos o instituciones, es de poco valor si no se proporciona también el apoyo apropiado para la operación y mantenimiento de esa infraestructura.

Por otro lado, la cobertura de agua potable y alcantarillado representa uno de los mejores indicadores del nivel de bienestar y desarrollo de los pueblos. La carencia de estos servicios está directamente asociada con un bajo nivel de vida y la presencia de enfermedades que afectan tanto a la salud, como al entorno social y económico de los habitantes que la padecen.

La justificación del presente trabajo es el de proporcionar una alternativa de solución a un problema que es vigente en México, el del saneamiento, el cual sólo alcanza a una porción de la población total, ya que de 91.6 millones de habitantes, 30.1 millones carecen del servicio de alcantarillado. Esta alternativa es el tratamiento "*in situ*", el cual se puede realizar a nivel domiciliario, comunal e institucional.

Con el fin de proporcionar elementos de contexto, en el estudio también se consideraron aspectos referentes a la normatividad vigente en el país, ya que su cumplimiento propiciará un ambiente más adecuado para el desarrollo de las comunidades, así como también el no cumplirla, redundaría en la aplicación de multas.

Con base en los antecedentes mencionados, el objetivo del presente estudio es el de evaluar técnica y económicamente los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas "in situ" existentes en el mercado nacional y así proponer las tecnologías más apropiadas en función de la calidad de tratamiento requerida (cuerpo receptor ó reuso). Para la presente evaluación, se consideraron 6 sistemas de tratamiento "in situ", los cuales son: fosa séptica, sistema de aireación prolongada (lodos activados), filtro percolador, filtro sumergido de película fija, tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland) y bioreactor anaerobio integrado.

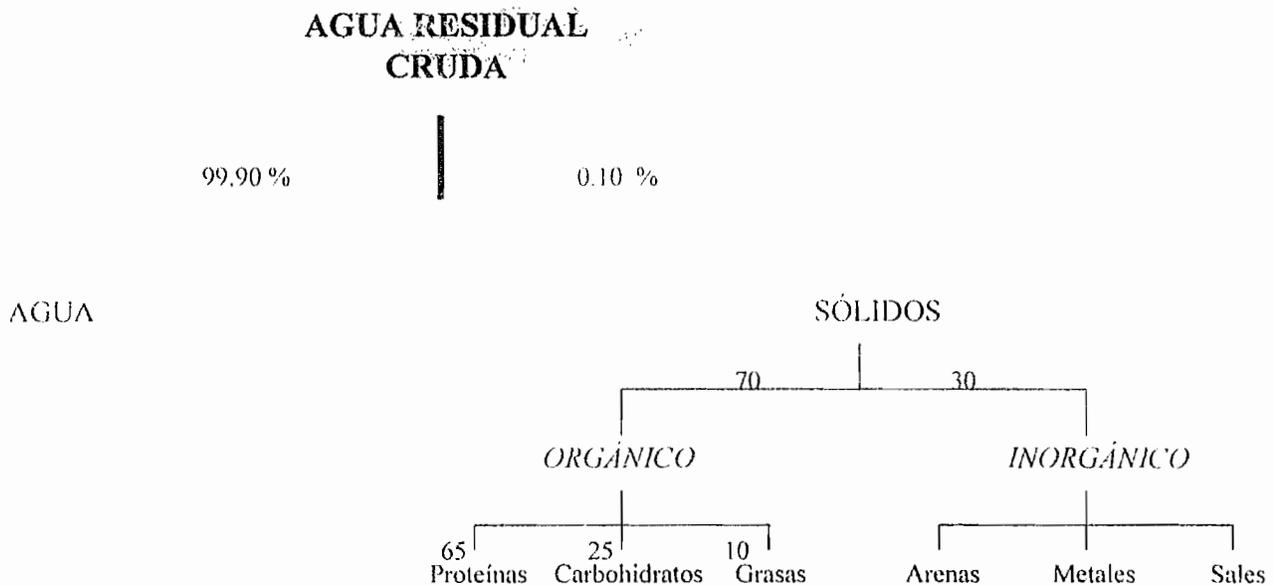
En la evaluación técnica, se consideran los aspectos relacionados con el proceso y funcionamiento de los sistemas de tratamiento, eficiencias, requerimientos energéticos y de mantenimiento, para finalmente identificar de acuerdo a la calidad del efluente, el sitio de descarga más adecuado.

En la evaluación económica se realiza la selección final del tratamiento más adecuado función de las condiciones prevalecientes, además es importante considerar que el costo del tratamiento está en función del grado de tratamiento requerido.

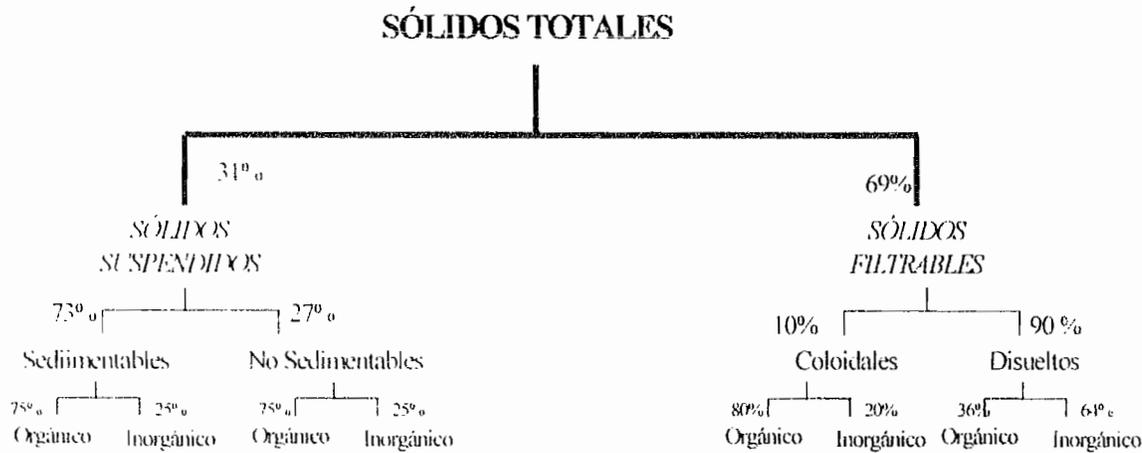
# 1. PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LA DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES

El agua es uno de los recursos naturales más importantes del mundo, ya que sin ella no podría existir la vida. El 70% de nuestro planeta está cubierto por agua, sin embargo, el 98% es salada; además, la mayor parte del agua dulce se localiza en los casquetes polares o en los acuíferos, por lo que sólo queda disponible el 0.014% en los lagos y ríos de la superficie terrestre. A diferencia de muchos otros recursos, el agua no tiene sustituto en muchas aplicaciones, desempeña un papel vital en el desarrollo de las comunidades, ya que es indispensable que su abastecimiento sea seguro para que una comunidad se establezca permanentemente. Por su parte, el establecimiento y desarrollo de centros urbanos generan una cantidad importante de desechos líquidos y sólidos, con lo que contribuyen fuertemente en la contaminación del medio ambiente. En la actualidad, debido a que la población ha crecido con rapidez, la capacidad de asimilación de la naturaleza se ha visto rebasada, por lo que se deben tomar medidas para proteger y aumentar el abastecimiento de agua y eliminar satisfactoriamente los desechos.

El agua suministrada por un sistema de abastecimiento es evacuada después de su empleo como agua residual (*FIGURA 1.1*). Éstos se componen esencialmente de agua (99.9%), más una cantidad pequeña de sólidos (0.1%) orgánicos e inorgánicos disueltos y en suspensión (*FIGURA 1.2*), cuya disposición adecuada se convierte en un problema de salud pública y de protección al ambiente, agudizándose a medida que la población aumenta.



**FIGURA 1.1 COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL DE ORIGEN MUNICIPAL**  
(Tebbutt, 1994)



**FIGURA 1.2. DISTRIBUCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y DISUELTOS CONTENIDOS EN UN AGUA RESIDUAL DE ORIGEN DOMÉSTICO**  
(Adaptado Metcalf & Eddy, 1991)

Para la conducción y disposición de las aguas residuales producidas en centros urbanos, comúnmente se cuenta con una red de alcantarillado sanitario, la cual permite alejar los desechos líquidos de la población.

La carencia de este servicio se asocia con un bajo nivel de vida y la presencia de enfermedades que afectan tanto a la salud, como al entorno social de los habitantes que la padecen.

Tradicionalmente, el servicio de saneamiento en los países en desarrollo presenta una serie de problemas, que limitan su adecuado funcionamiento. Estos problemas pueden ser clasificados en cinco categorías:

- a) **Explosión demográfica.** En los últimos 20 años, México multiplicó a casi el doble (en 1970 existían 48 377 363 habitantes, y en 1990, la población aumentó a 81 140 922 habitantes) su población y experimentó una radical transformación urbana.
- b) **Técnicos y operacionales.** La dirección de los organismos encargados de la operación y administración del servicio de saneamiento enfrenta problemas al operar la infraestructura existente que ha crecido de una forma no prevista, descuidando las acciones de mantenimiento preventivo. Por otro lado, aún cuando se ha iniciado la integración de bases de datos estadísticos sobre agua y saneamiento, los índices que permiten tomar decisiones adecuadas y oportunas, en la mayoría de los casos son valores

aproximados. De esta forma, se estima con cierto grado de imprecisión el volumen producido, el volumen facturado, el volumen de aguas residuales y las eficiencias de los sistemas, lo cual en consecuencia dificulta realizar una política de planeación adecuada.

- e) *Comerciales y financieros.* La medición del consumo de agua potable es irregular o inexistente, por lo tanto la facturación no está basada en datos de consumo reales; la medición irregular, combinada con una facturación y una recaudación ineficiente, provoca pérdidas comerciales -la razón principal es el alto nivel de agua no contabilizada-; también las políticas tarifarias se suman a los problemas financieros, ya que las tarifas no reflejan el costo del abastecimiento actual y futuro, así como el de la recolección y tratamiento de aguas residuales.
  
- d) *Humanos e institucionales.* La realidad social y política del país también afecta a los organismos operadores, que por una parte deben organizarse como empresas privadas en cuanto a su planeación y por otra están sujetas a la actividad política del gobierno en turno, que los lleva a ejecutar obras no programadas y frecuentemente a cambiar de administración con cada cambio de gobierno. Por otra parte, el usuario no está dispuesto a pagar más por un servicio deficiente, pero también ve limitadas sus opciones de elección; además, los ingresos de una gran parte de la población son apenas suficientes para cubrir sus necesidades básicas de alimentación, vivienda y educación.
  
- e) *Ambientales.* La cobertura en alcantarillado es del 85.5% en localidades urbanas y de 20.9% en localidades rurales, mientras que la cobertura en agua potable es de 96% en localidades urbanas y de 52.5% en localidades rurales (INEGI y CNA, 1995). La cobertura en alcantarillado es menor que la cobertura en agua potable, por lo que la población sin este servicio debe construir fosas sépticas o desalojar al aire libre lo que constituye un riesgo para la salud de los que allí habitan. Además, la carencia de esta infraestructura de saneamiento aumenta la posibilidad de contaminar los acuíferos, de los cuales muchas poblaciones se abastecen de agua potable.

## **1.1. Alcantarillado**

### *1.1.1 Alcantarillado Sanitario*

El alcantarillado es el sistema de conductos subterráneos, obras y accesorios, destinados a la colección y transporte de aguas de lluvia o aguas mezcladas con desechos producto de la actividad de una comunidad para conducir las a un punto de disposición final. La ventaja más importante de contar con un sistema de alcantarillado correctamente planeado en una comunidad, es el resguardar la salud pública, disminuyendo el riesgo de enfermedades de origen hídrico, tales como fiebre tifoidea, disentería, cólera entre otras. Además, el

alcantarillado sirve para impedir la contaminación del agua subterránea, contribuir a la disminución de fauna nociva y contribuir al bienestar de la comunidad.

En México, el número de localidades con menos de 2 500 habitantes casi se duplicó en los últimos 34 años, propiciando una gran dispersión territorial que dificulta y encarece la dotación de servicios básicos: se estima que en 1995, de una población total de 91.6 millones de habitantes, 15.1 millones carecen de servicio de agua potable y 30.1 millones del servicio de alcantarillado: De la población que carece de los servicios de agua potable y alcantarillado (*TABLA 1.1, FIGURA 1.3*), el 80% habita en comunidades rurales con menos de 2 500 habitantes (CNA, 1995).

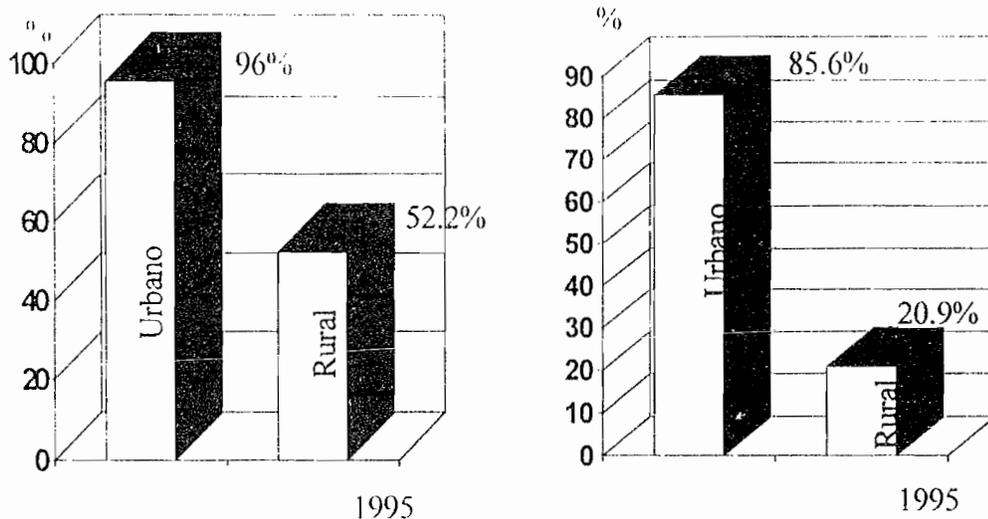
Para el año 2000, se estima que la población será de 99.2 millones de habitantes, de los cuales 70.8 estarán concentrados en localidades urbanas, por lo que la demanda de agua será del orden de 273 m<sup>3</sup>/s, de los cuales 233 m<sup>3</sup>/s serán destinados para el medio urbano y 40 m<sup>3</sup>/s para el rural. Para cubrir estas necesidades futuras, en el período 1995-2000, la Comisión Nacional del Agua (CNA) planea elevar los niveles de cobertura nacional a 87.5% y 76.4% en agua potable y alcantarillado, respectivamente, y mantener esas coberturas hasta el año 2015 en forma constante.

**TABLA 1.1 ESTIMACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO POR TAMAÑO DE LOCALIDAD, PARA MÉXICO EN 1995 (Adaptado de INEGI y CNA, 1995)**

Tamaño de localidad	Número de localidades	Población (mill.)	Cobertura Agua Potable (%)	Cobertura Alcantarillado (%)
<b>URBANO</b>				
80 000 o más	103	42 101 698	97.8	92.1
50 000 a 79 999	43	2 911 160	96.3	96.2
5 000 a 49 999	1 135	15 093 938	95.1	79.2
2 500 a 4 999	1 509	5 239 969	84.3	47.1
<b>Subtotal</b>	<b>2 790</b>	<b>65 346 765</b>	<b>96.0</b>	<b>85.6</b>
<b>RURAL</b>				
1 000 a 2 499	4 661	8 365 150	67.6	31.0
1 a 999	149 152	17 896 427	45.4	16.2
<b>Subtotal</b>	<b>153 813</b>	<b>26 261 577</b>	<b>52.5</b>	<b>20.9</b>
<b>TOTAL</b>	<b>156 603</b>	<b>91 608 342</b>	<b>83.5</b>	<b>67.1</b>

*Cobertura de Agua Potable*

*Cobertura de Alcantarillado*



**FIGURA 1.3 COBERTURA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN MÉXICO**  
(Adaptado de INEGI y CNA, 1995)

En relación a la carga contaminante de origen doméstico, se prevé que para el año 2000 se producirán 1.92 millones de toneladas al año de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxígeno, mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica), de las cuales 1.47 millones de toneladas se recolectarán en los sistemas de alcantarillado. Para el 2015 la producción será de 2.38 millones de toneladas anuales, de los cuales 1.83 millones anuales de DBO<sub>5</sub> serán recolectados en los sistemas de alcantarillado (CNA, 1995).

Se han desarrollado diversos tipos de redes de alcantarillado: separativas, pluviales y unitarias o combinadas (**TABLA 1.2**). Estos términos se refieren tanto al tipo de aguas evacuadas por las redes correspondientes, como a las propias alcantarillas.

Las características hidráulicas y las aplicaciones de cada uno de estos tipos se identifican en la **FIGURA 1.4**. En la **TABLA 1.3** se describen los tipos de alcantarillas en una red de alcantarillado típica como la que se muestra en la **FIGURA 1.4**.

El alcantarillado separativo o sanitario, tiene como propósito desalojar las aguas residuales de las zonas residenciales. El alcantarillado sanitario generalmente esta constituido por sistemas convencionales de circulación por gravedad o bien pueden ser del tipo de presión o vacío. Este tipo de alcantarillado recolecta por un conducto únicamente aguas residuales que aporta la población y por otro ducto conduce y desaloja las aguas de lluvia. Es decir, existen dos redes de alcantarillado con funciones independientes.

El alcantarillado pluvial, como su nombre lo indica, tienen por objeto la recogida, exclusivamente de las aguas pluviales.

Las alcantarillado unitario (sistema combinado) recolecta en forma simultánea y combinada las aguas residuales y las aguas pluviales. El conducto resulta sobrado en época de estiaje. Se proyecta su construcción en el caso de tener otros conductos subterráneos (gas, agua potable, teléfono, oleoductos, etc.) para economizar espacio o cuando la excavación es muy costosa.

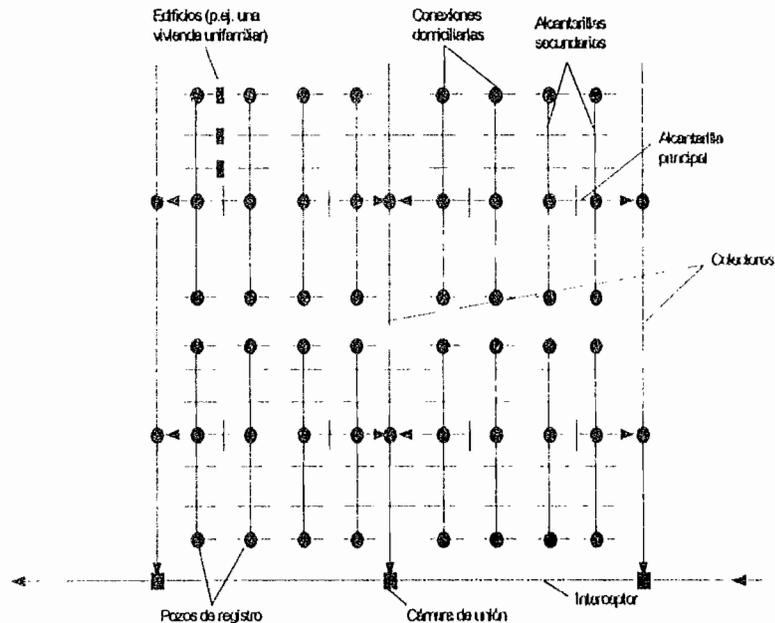
Existe una variante que combina las dos precedentes en forma limitada. Es el sistema semicombinado que recolecta y conduce aguas residuales y sólo la parte de las aguas de lluvia que se captan en las azoteas o predios domiciliarios. El agua de lluvia que se capta en calle y áreas verdes escurren libremente.

**TABLA 1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO**  
(Metcalf & Eddy, 1991)

Tipo de red	Características hidráulicas	Utilidad
Sanitaria (separativa)	Por gravedad	Se utilizan para el desalojo de las aguas residuales de origen doméstico, comercial, industrial e institucional.
	A presión	Se utilizan para el desalojo de las aguas residuales de zonas residenciales en que la construcción de una red por gravedad es problemática debido a la topografía del sitio.
	De vacío	Las mismas condiciones que para las redes a presión.
Aguas pluviales	Por gravedad	Se utilizan para el desalojo de las aguas pluviales procedentes de calles, tejados y otras fuentes. No incluyen aguas residuales.
Unitaria	Por gravedad	Se utilizan para el desalojo de aguas residuales de origen doméstico e industrial y las aguas pluviales.

**TABLA 1.3 TIPOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS ALCANTARILLAS EN UNA RED DE ALCANTARILLADO TÍPICA**  
(Metcalf & Eddy, 1991)

Tipo de alcantarillado	Descripción
Acometida domiciliaria	Las acometidas o conexiones domiciliarias se conectan con la red de desegües de los edificios y su finalidad es transportar las aguas residuales originadas en ellos a las alcantarillas secundarias o a cualquier otra alcantarilla, excepto a otra acometida domiciliaria. Normalmente, se construyen exteriormente al edificio, dependiendo su distancia a los cimientos, respetando las normativas locales.
Laterales o secundarias	Suelen disponerse en las calles o en zonas especiales de servicio, se utilizan para transportar el agua residual proveniente de las acometidas domiciliarias hacia las alcantarillas principales.
Principales	Se utilizan para transportar el agua residual procedente de una o varias alcantarillas secundarias a los colectores o interceptores.
Colectores	Son alcantarillas de gran diámetro que transportan el agua residual de las principales a los grandes interceptores o hacia la planta de tratamiento.
Interceptores	Son alcantarillas de gran tamaño y diámetro que se utilizan para interceptar y recoger el agua residual procedente de uno o varios colectores, transportándolas a la planta de tratamiento (el término <i>interceptor</i> fue inicialmente aplicado a una alcantarilla que "recibe el caudal en tiempo seco de un cierto número de alcantarillas transversales y, un volumen predeterminado de aguas pluviales").



**FIGURA 1.4 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ALCANTARILLAS EN UNA RED DE ALCANTARILLADO**  
(Metcalf & Eddy, 1991)

Generalmente los conductos que constituyen cualquier alcantarillado son tubos de sección circular fabricados de concreto simple o armado, según sea su diámetro y la profundidad a que se instalen, empleándose sólo por requerimientos técnicos en zonas de algunas localidades los fabricados con asbesto-cemento, barro cocido sin vitrificar o vitrificado, o de plástico P.V.C.

Para la determinación del diámetro y pendiente adecuados para el sistema de alcantarillado, deberá seleccionarse el diámetro (los diámetros comerciales se observan en la **TABLA 1.4**) de las tuberías de manera que su capacidad sea tal, que a su gasto máximo extraordinario, el agua escurra sin presión a tubo lleno y con un tirante para gasto mínimo que permita arrastrar las partículas sólidas en suspensión. El tirante mínimo a alcanzar es de un centímetro en casos excepcionales y en casos normales el de 1.5 cm. Lo anterior se logra aplicando lo expuesto a continuación:

a) Se empleará la fórmula de Manning para calcular la velocidad del agua en las tuberías cuando trabajen llenas, utilizando además, las relaciones hidráulicas y geométricas de esos conductos, al operar parcialmente llenos. La expresión algebraica de la fórmula de Manning es:

$$V = (1/n)R^{2/3} S^{1/2}$$

V = velocidad media de escurrimiento, en m/seg

n= coeficiente de rugosidad

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente geométrica o hidráulica del conducto, expresada en la forma decimal.

El valor de n que debe emplearse en la fórmula anterior es de 0.013 para tubos de concreto prefabricados y de 0.016, cuando el tubo sea colado en el lugar.

En cuanto a las pendientes de la tuberías, deben ser tan semejantes como sea posible a las del terreno con objeto de tener excavaciones mínimas. Las pendientes máximas y mínimas se muestran en la **TABLA 1.4**.

**TABLA 1.4 PENDIENTES MÁXIMAS Y MÍNIMAS PARA TUBERÍAS DE UNA RED DE ALCANTARILLADO (Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en Localidades Urbanas de la República Mexicana, 1993)**

	PENDIENTE milésimos	GASTO l/seg	PENDIENTE milésimos	GASTO l/seg	MÁXIMA	MÍNIMA
20	82.57	94.24	3.30	18.85	83	4.0
25	61.32	147.26	2.45	29.45	61	2.5
30	48.09	212.06	1.92	42.41	48	2.0
38	35.09	340.23	1.40	68.05	35	1.5
45	28.01	477.13	1.12	95.43	28	1.2
61	18.67	876.74	0.75	175.35	19	0.8
76	13.92	1360.93	0.56	272.19	14	0.6
91	10.95	1951.16	0.44	390.23	11	0.5
107	8.82	2697.61	0.35	539.52	9	0.4
122	7.41	3506.96	0.30	701.39	7.5	0.3
152	5.53	5443.75	0.22	1088.75	5.5	0.3
183	4.31	7890.66	0.17	1578.13	4.5	0.2
213	3.52	10689.82	0.14	2137.96	3.5	0.2
244	2.94	14027.84	0.12	2805.57	3.0	0.2

La fórmula que se empleó es la de Manning, con  $n=0.013$

### 1.1.1.1 Proyecto de un Sistema de Alcantarillado Sanitario

Para efectuar los proyectos de las obras que integran el sistema de alcantarillado sanitario o para aguas negras de localidades urbanas, se deben establecer claramente los datos de proyecto como se indica a continuación:

- Población del último censo oficial (hab)
- Población actual estimada (hab)
- Población de proyecto (hab)
- Dotación (l/hab/d)
- Aportación (75% a 80% de la dotación, l/hab/d)
- Sistema de alcantarillado a emplear (por ejemplo: separado de aguas negras)
- Fórmulas: Harmon y Manning
- Longitud de la red (m)
- Naturaleza del sitio de vertido
- Sistema de eliminación (gravedad y/o bombeo)

- Coeficiente de prevision o seguridad (1.5)
- Velocidades: mínima y maxima (m/s)
- Gastos: mínimo, medio, máximo instantáneo, máximo extraordinario (l/s)

Así mismo, el proyecto de una red de alcantarillado sanitario implica:

- La estimación de los caudales de agua residual de proyecto y la evaluación de las condiciones locales que puedan influir sobre el funcionamiento hidráulico de la red.
- La selección y dimensionamiento de los materiales a emplear en las alcantarillas, de los diámetros mínimos, de las velocidades máximas y mínimas permisibles y de las pendientes.
- La evaluación de trazados alternativos
- La evaluación del empleo de alcantarillas con trazados en curva
- La selección de las instalaciones complementarias adecuadas
- Estudio de la posible necesidad de ampliación de la red, en caso de que exista.

Tales sistemas deben funcionar correctamente y sin crear condiciones molestas.

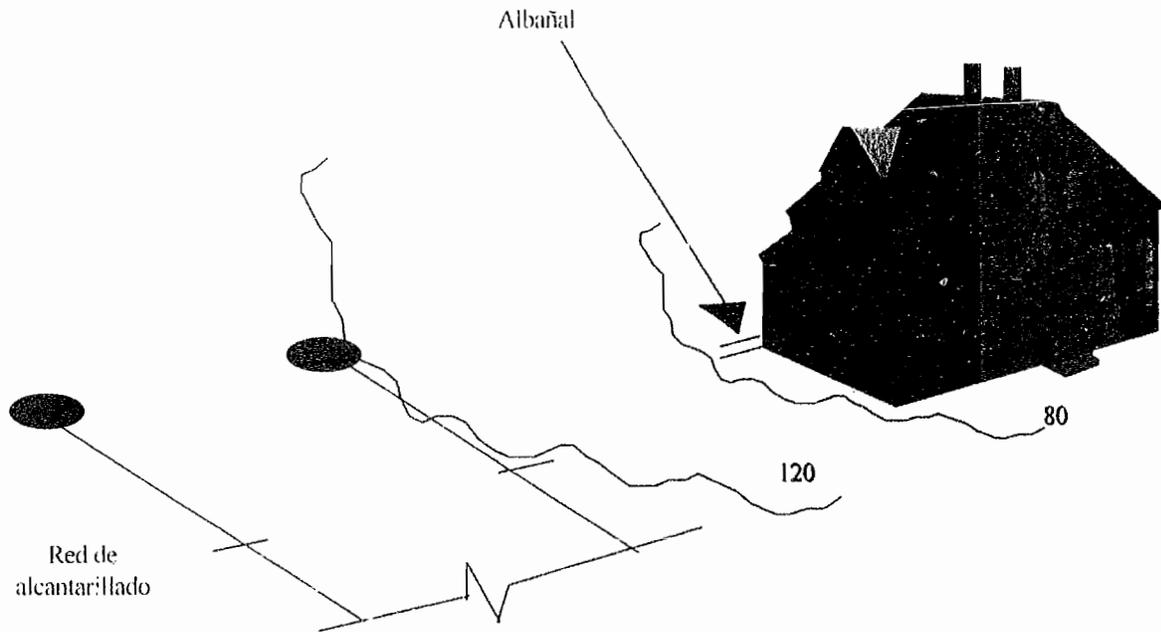
### *1.1.2 Acceso limitado al alcantarillado Sanitario*

El problema de alcantarillado, al igual que el del agua potable, se pretende resolver con la rapidez que requiere la demanda poblacional, considerando principalmente los factores económicos, sociales, culturales, antropológicos y topográficos, para satisfacer eficientemente las necesidades del usuario y ser congruentes con el desarrollo urbano sin alterar la ecología regional (Valencia, 1996).

En nuestro país existen zonas donde el sistema de alcantarillado se encuentra limitado, ya sea que el servicio exista, pero la conexión al mismo es problemática ó que definitivamente no se cuenta con él. La deficiencia del servicio se puede observar en el medio rural, donde la cobertura de alcantarillado con que se cuenta es de únicamente 20.9% (INEGI, 1995).

Los casos que limitan la instalación de conexiones a las redes de alcantarillado son típicamente la existencia de alcantarillado, pero con desnivel insuficiente entre el albañal (descarga domiciliaria) y la conexión al sistema; y que el sistema de alcantarillado esté alejado del albañal.

Uno de los factores principales que afectan el flujo de aguas residuales en las alcantarillas es la pendiente, ya que se requiere de una pendiente mínima (**TABLA 1.5**), que en ocasiones no se adecúa a la conexión que se quiere realizar, por la deficiencia de desnivel (**FIGURA 1.5**).



**FIGURA 1.5 CONEXIÓN PROBLEMÁTICA A LA RED DE ALCANTARILLADO POR NO CONTAR CON DESNIVEL SUFICIENTE.**

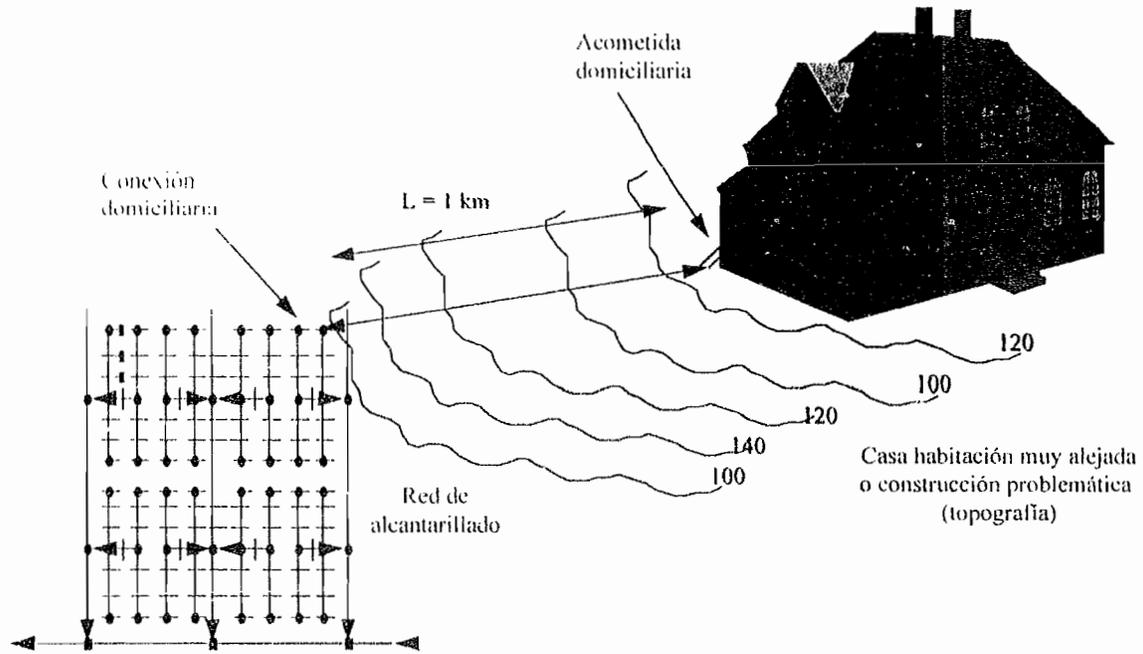
**TABLA 1.5 PENDIENTES MÍNIMAS PARA LAS ALCANTARILLAS SANITARIAS**  
(Metcalf & Eddy, 1991)

Diámetro mm	Pendiente, mm/m <sup>a</sup>	
	n = 0.013	n = 0.015
200	0.0033	0.0044
250	0.0025	0.0033
300	0.0019	0.0026
375	0.0014	0.0019
450	0.0011	0.0015
525	0.0009	0.0012
600	0.0008	0.0010
675	0.0007 <sup>b</sup>	0.0009
750	0.0006 <sup>b</sup>	0.0008 <sup>b</sup>
900	0.0004 <sup>b</sup>	0.0006 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Basada en la fórmula de Manning para velocidad mínima de 0.6 m/s

<sup>b</sup> La pendiente mínima practicable desde el punto de vista constructivo es, aproximadamente 0.0008 m/m

Existe también el caso en el que se cuenta con sistema de alcantarillado, pero se encuentra muy alejado del albañal, y la conexión a la red implica incremento de costos e inclusive limitaciones de tipo constructivo (**FIGURA 1.6**).



**FIGURA 1.6. CONEXIÓN PROBLEMÁTICA A LA RED DE ALCANTARILLADO POR DISTANCIA O TOPOGRAFÍA.**

Existen opciones para solucionar la problemática en la disposición de aguas residuales de manera eficiente y a un costo más accesible, empleando sistemas de tratamiento “*in situ*”.

## 1.2. Tratamiento “*in situ*”

El tratamiento “*in situ*” es una alternativa para llevar a cabo acciones locales de saneamiento que permitan mejorar el entorno físico y en especial, proteger y conservar la calidad del agua en las corrientes y acuíferos del país, cuando los sistemas de alcantarillado convencionales no pueden ser instalados.

Actualmente, en las casas aisladas o dispersas o que cuentan con servicio de alcantarillado limitado, las aguas residuales se evacúan por infiltración en el suelo o por dilución en un cuerpo de agua, sin ningún tratamiento, salvo en casos aislados en los que en general se cuenta con una fosa séptica.

Esta situación representa riesgos para el ambiente y la salud al modificar la calidad de los cuerpos receptores de agua y al contaminar los suelos por donde escurren, por lo que es necesario resolver el problema del tratamiento de las aguas residuales en estas zonas, ya sea en forma individual o en conjunto, dependiendo de las condiciones ambientales, de urbanismo, tenencia de la tierra, uso del suelo y economía, principalmente.

El tratamiento “*in situ*” se presenta básicamente cuando se requiere una adecuada disposición y mejora de la calidad del agua residual de origen domiciliario, comunal e institucional.

### ***1.2.1. Domiciliario***

El tratamiento domiciliario “*in situ*” se refiere a instalaciones destinadas a tratar las aguas residuales de casas ubicadas en poblaciones carentes de drenaje o sistemas colectores, o que cuentan con ellos de manera limitada, pero con abastecimiento de agua potable con dotaciones normales.

### ***1.2.2. Comunal***

El tratamiento comunal “*in situ*” se refiere a instalaciones destinadas a tratar los efluentes de pequeños conglomerados (menos de 2 500 habitantes) ya sea aislados o ubicados en poblaciones carentes de drenaje o sistemas colectores.

### ***1.2.3. Institucional***

El tratamiento institucional “*in situ*” se refiere a instalaciones destinadas a tratar los efluentes de escuelas, hospitales, centros comerciales, hoteles, centros recreativos, ubicados en forma aislada o en poblaciones carentes de drenaje o sistemas colectores, o que cuentan con ellos de manera limitada, pero con disposición de agua potable con dotaciones normales.

En las **TABLAS 1.6 y 1.7** se presentan datos sobre las aportaciones de aguas residuales a nivel doméstico, comercial e institucional, así como sobre el consumo de agua en función de diversas actividades comerciales y de servicios.

**TABLA 1.6 GASTOS DE AGUAS NEGRAS DE DIFERENTES FUENTES**

(Babbitt, 1962)

Fuente de las aguas negras	litros/hab/día	litros/hectárea/día
Doméstico		
Promedio	350	
Casas de nivel alto	525	65 625
Casas de nivel medio	350	70 000
Casas de nivel bajo	280	140 000
Comercial		
Tiendas		525 000
Mercados, almacenes y comercio al por mayor		131 500
Institucionales		
Hoteles pequeños	175	
Moteles	185	
Escuela media	15	
Escuela superior	13	
Cárceles de estado		
Máximo	980	
Medio	616	
Mínimo	364	
Hospitales		
Máximo	756	
Medio	378	
Mínimo	133	

**TABLA 1.7 CONSUMOS DE AGUA PARA DIFERENTES FINES**

(Babbitt, 1962)

USO	UNIDAD	LITROS POR UNIDAD
Edificios de oficinas	Por empleado y por día	96 a 157
Hospitales	Por cama y por día	437 a 1 225
Hoteles	Por habitación y por día	1 050 a 1 837
Lavanderías	Por kilogramo	4.7 a 9.0
Restaurantes	Por comida	1.7 a 14.0

En términos generales, el tratamiento “*in situ*” domiciliario, comunal e institucional, consiste de (1) un sistema colector del agua residual, (2) alguna instalación de tratamiento y (3) un sistema de disposición del efluente. En cuanto al sistema colector, se tiene el albañal con una pendiente normalmente del 2%. Éste se conecta a una unidad de tratamiento, la cual puede ser una fosa séptica o una planta de tratamiento tipo paquete.

La elección de un proceso determinado de tratamiento “*in situ*” de las aguas negras, debe basarse en el análisis de los siguientes factores:

1. La calidad de las aguas negras que se van a tratar (en el presente trabajo sólo se abarcarán las aguas residuales de origen doméstico, cuya caracterización típica se muestra en la **TABLA 1.8**).

**TABLA 1.8 COMPOSICIÓN DE UN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**  
(Adaptado de Metcalf & Eddy, 1991)

Contaminante	Unidades	Concentración (mg/l)		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales, SST	mg/l	350	720	1200
Sólidos Disueltos Totales, SDT	mg/l	250	500	850
Sólidos Disueltos Fijos, SDF	mg/l	145	300	525
Sólidos Disueltos Volátiles, SDV	mg/l	105	200	325
Sólidos Suspendidos Totales, SST	mg/l	100	220	350
Sólidos Suspendidos Fijos, SSF	mg/l	20	55	75
Sólidos Suspendidos Volátiles, SSV	mg/l	80	165	275
Sólidos Sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, 20°C, DBO <sub>5</sub>	mg/l	110	220	400
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno Total, N	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoniacal	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo Total, P	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Alcalinidad	mg/l	50	100	200
Grasas y Aceites	mg/l	50	100	150
Coliformes Totales	NMP /100 ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>

2. El área del lugar, su topografía y las condiciones del subsuelo.

3. La eficacia y las características del proceso de tratamiento.

4. La disponibilidad de materiales y la vida probable de las estructuras y del equipo.

5. La carga hidráulica, necesaria para el funcionamiento y la cantidad de dinero disponible.
6. Los costos del equipo, de su instalación, su operación y mantenimiento
7. La disponibilidad de materiales y la vida de las estructuras y del equipo.

## 2. CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES DE SELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU"

### 2.1 Componentes de los Procesos de Tratamiento

A lo largo de los años, se han desarrollado una gran variedad de métodos para el tratamiento del agua residual. En muchos casos, se combinan varios procesos dependiendo de la calidad del agua residual que se va a tratar y el grado que se desee alcanzar en función del reúso.

Comercialmente las plantas de tratamiento de aguas residuales, conocidas como "plantas paquete", son prefabricadas o fácilmente ensambladas por sus componentes estándar. Las plantas paquete se usan comúnmente para flujos de menos de 190 m<sup>3</sup>/d (EPA, 1977).

Estas unidades proporcionan diferentes niveles de tratamiento, en función de la disposición final del efluente (cuerpo de agua, suelo o reúso).

#### 2.1.1 Operaciones y Procesos Unitarios

Existe una extensa variedad de operaciones y procesos unitarios para el tratamiento del agua residual. En este sentido, los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales de tratamiento se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. Dichas operaciones y procesos se utilizan combinados en los sistemas de tratamiento, pero se estudian las bases científicas de cada uno de ellos por separado, ya que los principios básicos no varían.

- **Operaciones físicas unitarias.** Tratamiento en el cual se llevan a cabo cambios a través de la aplicación de fuerzas físicas. Las operaciones típicas incluyen cribado, mezclado, transferencia de gas, sedimentación y filtración.
- **Procesos químicos unitarios.** Operaciones en las cuales la remoción o tratamiento de los contaminantes se realiza mediante la adición de productos químicos que llevan a cabo diferentes reacciones químicas. La precipitación, la oxidación y la desinfección con cloro son tres de los principales ejemplos. En la aplicación de los procesos químicos unitarios comparados con las operaciones físicas unitarias, es importante considerar que se trata de procesos demandantes de insumos o aditivos. En la mayoría de los casos, se añade algo (reactivo o productos químicos) al agua residual para llevar a cabo la eliminación del contaminante (fósforo, compuestos orgánicos, nitrógeno). Como resultado generalmente se produce un incremento neto de los constituyentes disueltos del agua residual. Por ejemplo, cuando se añaden productos químicos para aumentar la eficacia de eliminación de la sedimentación simple, la concentración total

de sólidos disueltos del agua residual se ve siempre incrementada. Si se va a reutilizar el agua residual, esto puede ser un factor importante a tener en cuenta. Este aspecto aditivo está en contraste con las operaciones físicas unitarias y con los procesos unitarios biológicos, los cuales pueden describirse como sustractivos, ya que en los mismos se produce una eliminación de materias del agua residual. Otra desventaja de los procesos químicos unitarios consiste en que todos ellos, los costos de operación juegan un papel importante.

- **Procesos biológicos unitarios.** Los métodos de tratamiento en los cuales se involucra la actividad de los microorganismos para la remoción y/o transformación de contaminantes se llaman procesos biológicos. Los métodos biológicos son utilizados para la remoción de material biodegradable (soluble o coloidal) del agua residual. Básicamente los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Los objetivos que persigue el tratamiento biológico de un agua residual son la floculación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica suspendida y disuelta. En el caso de agua residual doméstica, el principal objetivo es reducir el contenido orgánico y, en muchos casos, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo.

Los procesos biológicos se dividen en dos grupos: anaerobios y aerobios.

El proceso anaerobio se caracteriza por tener una baja tasa de síntesis bacteriana (baja producción de lodos de desecho), ya que el 90% de la energía se utiliza en la producción de metano mientras que el 10% restante se emplea para la síntesis celular. Por el contrario, en el tratamiento aerobio el 65% de la energía es utilizada para la síntesis celular, por lo que hay mayor generación de biomasa (lodo no estabilizado), cuyo tratamiento y disposición incrementa la dificultad técnica y el costo total de tratamiento.

El proceso anaerobio es productor de energía ( $CH_4$ ), mientras que el aerobio es un consumidor de ésta en forma de agitación y oxigenación. Sin embargo, el proceso anaerobio es más sensible a cambios ambientales, requiere un mayor tiempo de arranque y alcanza calidades de agua tratada inferiores que el proceso aerobio.

La aplicación de las operaciones y procesos unitarios se agrupan para constituir diferentes sistemas de tratamiento. Dichos sistemas tendrán distintos alcances de tratamiento, también denominado nivel de tratamiento, dependiendo del tipo de operaciones y procesos que involuere.

El nivel de tratamiento requerido en un proyecto específico de aguas residuales dependerá de las características iniciales del agua a tratar, así como de la calidad requerida por el efluente tratado.

Los niveles de tratamiento (*TABLA 2.1*) que se le pueden proporcionar a un agua residual se clasifican comúnmente en: primario, secundario y terciario (avanzado).

a) *Tratamiento primario*. Se emplea para la eliminación de una fracción de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, generalmente realizada mediante procesos físicos. En este sistema de tratamiento predominan las operaciones físicas unitarias.

b) *Tratamiento secundario*. Comprende los tratamientos biológicos convencionales. Los procesos biológicos emplean reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloidales, normalmente sustancias orgánicas. Los procesos biológicos aerobios incluyen filtrado biológico y los lodos activados. Los procesos de oxidación anaerobia se usan para la estabilización de lodos orgánicos y desechos líquidos orgánicos de alta concentración.

c) *Tratamiento terciario*. A este nivel de tratamiento se emplean procesos químicos (coagulación, precipitación, intercambio iónico) dependiendo de las propiedades químicas de la impureza. Cuando se requiere el reúso o el control de la eutroficación del cuerpo receptor, se usan este nivel de tratamiento. Para alcanzar este nivel normalmente se tienen presentes los tres tipos de operaciones y procesos unitarios.

En la *FIGURA 2.1* se presenta la ubicación de las operaciones y procesos dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional.

**TABLA 2.1. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**  
(Ramalho, 1991)

Nivel de Tratamiento	Tipos de Tratamiento
<i>Tratamiento Primario</i>	Cribado Sedimentación Flotación Precipitación y coagulación Separación de grasas Homogeneización Neutralización
<i>Tratamiento secundario</i>	Lodos activos Aireación prolongada (procesos de oxidación total) Filtros biológicos (percoladores) Discos biológicos Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros (sumergidos) Microtamizado
<i>Tratamiento terciario o "avanzado"</i>	Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas) Adsorción (carbón activado) Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodialisis Cloración y ozonización Procesos de remoción de nutrientes



**TABLA 2.2. OPERACIONES, PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO USADOS PARA REMOVER LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES PRESENTES EN UN AGUA RESIDUAL MUNICIPAL.**  
(Adaptado de Sámano, 1993)

CONTAMINANTES	OPERACIÓN UNITARIA DE TRATAMIENTO	CLASIFICACIÓN	
Sólidos suspendidos y sedimentables	Cribado y demenzado	F	
	Sedimentación	F	
	Flotación	F	
	Filtración	F	
	Coagulación/sedimentación	Q/F	
Orgánicos biodegradables	<i>Procesos aerobios</i>		
	Lodos activados	B	
	Filtro percolador	B	
	Discos biológicos rotatorios	B	
	<i>Procesos anaerobios</i>		
	Fosa séptica	B	
	Tanque Imhoff	B	
	Filtro Anaerobio	B	
Reactor lecho de lodos con flujo ascendente	B		
Patógenos	<i>Desinfección con:</i>		
	Cloro	Q	
	Hipoclorito de calcio	Q	
	Hipoclorito de sodio	Q	
	Ozonación	Q	
	Luz Ultravioleta	Q	
Nutrientes:			
	Nitrógeno	Nitrificación y desnitrificación con biomasa suspendida	B
		Nitrificación y desnitrificación con biomasa fija	B
		Intercambio iónico	Q
	Fósforo	Coagulación/Sedimentación con sales metálicas	Q/F
		Coagulación/Sedimentación con cal	Q/F
Remoción biológica		B	
Orgánicos refractarios*	Adsorción con carbón activado	F	
	Ozonación	Q	
Metales pesados*	Precipitación química	Q	
	Intercambio iónico	Q	
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio iónico	Q	
	Ósmosis inversa	F	
	Electrodiálisis	Q	

\* Es difícil encontrarlos en un agua residual doméstica  
F= físico; Q=químico; B=biológico

**TABLA 2.3 PRINCIPALES REACTORES BIOLÓGICOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (Adaptado de Metcalf & Eddy, 1991)**

Proceso	Cultivo	Nombre Común
Aerobio	Suspensión	Proceso de lodos activados
	Fijo	Filtro percolador Disco biológico rotatorio Reactor de lecho sumergido
Anaerobio	Suspensión	Reactor anaerobio de contacto Reactor de biomasa granulada
	Fijo	Filtro anaerobio Reactor de lecho Expandido

Los procesos de cultivo en suspensión son aquéllos en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro del líquido.

### 2.1.2 Sistemas de Biomasa Fija

Por otra parte, los sistemas de biomasa fija requieren de un medio de soporte donde se desarrolla una capa de microorganismos que en continuo contacto con el agua residual y el aire (en caso de tratarse de un proceso aerobio), absorben el oxígeno necesario para metabolizar la materia carbonácea difundida a través de la biopelícula (película fija). El material de soporte es un medio inerte tal como piedras, escoria volcánica o materiales cerámicos y plásticos, especialmente diseñados.

Es posible emplear procesos acoplados (anaerobio-aerobio), los cuales aumentan la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales. En la etapa anaerobia se elimina la mayor cantidad de materia orgánica en el agua y en la aerobia se pule el efluente anaerobio. Una de las ventajas más importantes que ofrece este tipo de acoplamiento es la disminución significativa en la producción de lodo al ser comparada ésta con la de un sistema aerobio solo, además de que el lodo producido se encuentra estabilizado (Sámamo, 1993).

Los principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento "in situ" del agua residual, así como sus usos se muestran en la **TABLA 2.4**.

**TABLA 2.4 PRINCIPALES PROCESOS BIOLÓGICOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO "IN SITU" DEL AGUA RESIDUAL (adaptado Metcalf & Eddy, 1991)**

PROCESOS AEROBIOS		
<b>Cultivo en suspensión</b>	Proceso de lodos activados: Convencional	Eliminación de la DBO <sub>5</sub> carbonosa (nitrificación)
	Tanque de mezcla completa Aireación prolongada	Idem Idem
	<b>Cultivo fijo</b>	
	Filtros percoladores	Eliminación de la DBO <sub>5</sub> carbonosa (nitrificación)
	Filtros de pretratamiento	Eliminación de la DBO <sub>5</sub> carbonosa
	Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)	Eliminación de la DBO <sub>5</sub> carbonosa (nitrificación)
PROCESOS ANAEROBIOS		
<b>Cultivo en suspensión</b>	Digestión anaerobia	Estabilización, eliminación de la DBO <sub>5</sub> carbonosa
	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación de la DBO <sub>5</sub> carbonosa
<b>Cultivo fijo</b>	Filtro anaerobio	Eliminación de la DBO <sub>5</sub> carbonosa , estabilización (desnitrificación)

### 2.1.3 Factores a considerar en la selección del sistema de tratamiento

Para fines de selección del sistema de tratamiento se deben considerar ciertos factores, adicionales al nivel de tratamiento (Schulz, 1990):

- Resistente
- Simple de operar y permitir un acceso fácil
- Confiable y sin molestias para el usuario
- Equipada con equipo mecánico y costos de operación no complicados
- Económicos
- Fáciles de transportar e instalar con un trabajo mínimo de construcción en el sitio de ubicación.
- Disponibilidad de terreno
- Topografía del sitio
- Posibilidad de aprovechar estructuras existentes

- Dimensiones de la planta
- Personal requerido para el manejo de la planta

Las estructuras que van a contener agua deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser estancas
- Ser resistentes a condiciones ambientales prevalecientes a fin de evitar los daños causados por factores atmosféricos, agua subterránea, heladas.
- Ser resistentes a los productos químicos usados en el tratamiento de agua.
- Proporcionar una superficie lisa y bien conformada de manera que la resistencia al flujo sea mínima.
- La selección del material de construcción de tanque es de gran importancia en el costo final, así como en el detalle del diseño.

También es necesario considerar el nivel de aplicabilidad de cada sistema de tratamiento "in situ", es decir, en qué sectores poblacionales (domicilios, comunidades, instituciones) es posible la instalación de un determinado tipo de tratamiento, en la **TABLA 2.5** se hace referencia de la aplicabilidad de los sistemas que se presentarán en este trabajo.

Los sistemas de tratamiento "in situ" que se presentarán en este trabajo se muestran en la **TABLA 2.6**, así como un breve resumen de sus características.

SISTEMA		Nivel de Aplicabilidad		
		Domiciliario	Comunal	Institucional
<b>Anaerobio</b>	Sistemas de Biomasa en Suspensión	A	NA	NA
	Fosa Séptica Común	A	NA	NA
	Fosa Séptica Doble Cámara	A	NA	NA
	Fosa Tipo Imhoff	A	A	A
	Tanque Imhoff	A	A	A
	Planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces	A	NA	NA
	Bioreactor Anaerobio Integrado	A	A	A
<b>Aerobio</b>	Sistemas de Biomasa en Suspensión	A	A	A
	Fija	A	A	A
	Sistemas de Biomasa en Suspensión	A	A	A
	Fija	A	A	A
		Planta de Tratamiento EKOFINN BIOCLERE	A	A
	Planta paquete Filtro sumergido de película fija	A	A	A

A. El tratamiento es aplicable a ese nivel  
 NA. El tratamiento no es aplicable a ese nivel

**TABLA 2.5 APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU" DISPONIBLES EN EL MERCADO**

TABLA 2.6 UNIDADES DE TRATAMIENTO "IN SITU" EXISTENTES EN EL MERCADO

Tratamiento	Descripción
<b>Primario</b>	
Fosa séptica	Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> : 40-60%. Su efluente es falto de oxígeno y el NAF debe estar a 1.5 m abajo del fondo del tanque. Materiales: fibra de vidrio, concreto, acero, fibro-cemento, P.V.C.
Fosa séptica doble cámara	Recipiente rectangular de doble cámara, donde se efectúan la sedimentación y digestión en lapsos de 12 a 36 horas. Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> : 50-70%.
Fosa tipo Imhoff	Tanque cuyo diseño mejora los defectos del tanque séptico evitando nuevamente la mezcla de sólidos ya separados, se reducen periodos de retención. Es un proceso de digestión anaeróbico.
Tanque Imhoff	Tanque que consta de un compartimiento de sedimentación, uno de digestión y otro de natas. Es un proceso de digestión anaeróbico.
<b>Secundario y Terciario</b>	
Proceso FILTACLERE-P	Instalación simple y completamente cerrada, funciona con energía eléctrica doméstica, puede tratar poblaciones desde 5 habitantes hasta 300.
Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE	El sistema requiere de una fosa séptica. El efluente tiene una reducción del 50% en SST, del 30% en DBO y del 30% en DQO. La unidad cuenta con un centro de control, fusibles de protección, interruptor principal y contactos de alarma libres de potencia. La operación del sistema es completamente automática. Puede tratar aguas residuales provenientes de domicilios, comunidades e instituciones.
Filtro biológico sumergido	Es una buena opción para flujos de bajo volumen, abajo de 50 m <sup>3</sup> /s. La unidad convencional cubre las necesidades de una residencia y consiste en un recipiente vertical de material plástico, donde se lleva a cabo la oxidación de la materia orgánica mediante un proceso biológico. Es un proceso biológico que se realiza en dos etapas, la primera Anaeróbica y la segunda aeróbica en un Filtro BIOLógico . Los componentes del sistema son fosa séptica, tanque de bombeo, filtro biológico y post-tratamiento.
Filtro sumergido de película fija	Diseño compacto. No requiere fosa séptica anterior a la planta. Planta construida en poliester reforzado con fibra de vidrio. Operación automática. En promedio la DQO de salida es de 140 mg/l y los SST son de 80 mg/l.
Bioreactor Anaerobio Integrado	La planta paquete es un reactor anaerobio híbrido con filtro anaerobio de flujo ascendente en placas de sedimentación. Alcanza una eficiencia del 70% al 80% con base DQO y 10% menos en base a DBO. Puede tratar aguas residuales provenientes de domicilios, comunidades e instituciones.

Continuación.

**TABLA 2.6 UNIDADES DE TRATAMIENTO "IN SITU" EXISTENTES EN EL MERCADO**

Tratamiento	Descripción
Lodos Activados	Sistema diseñado como un proceso de lodos activados, con alimentación continua y clarificadores batch (SBR). El proceso SBR puede funcionar dentro de un solo reactor. Se pueden tratar caudales de 1.9 m <sup>3</sup> /día hasta 45 m <sup>3</sup> /día. Da una eficiencia de remoción de DBO y SST del 96%.
Tratamiento de aguas residuales por aireación extendida	Se mezclan extensivamente grandes volúmenes de aire con las aguas residuales que entran a la planta. Estas plantas pueden dividirse en cuatro elementos principales: pretratamiento, aireación, sedimentación y equipos complementarios.
Biodiscos (ECO-PACK)	La instalación consiste en una unidad de plancha de acero, dividida en: una unidad de presedimentación (materiales finos), unidad de oxidación biológica (filtro turbo-disc), zona de sedimentación final.
Planta de tratamiento Anaerobio con entramado biológico	Esta planta consta de un reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos, wetland. Eficiencia general de remoción del 70%, se remueven el 80% de sólidos suspendidos volátiles. El sistema no requiere de sistema de desinfección. La capacidad máxima recomendada para este sistema es de 100 personas. El sistema no requiere de equipo mecánico.

## 2.2 Tratamiento Primario

Las unidades de tratamiento "in situ", existentes en el mercado, que proporcionan un tratamiento a nivel primario son fosa séptica, fosa séptica con doble cámara, fosa tipo Imhoff y tanque Imhoff.

**2.2.1 Fosas sépticas:** unidad de tratamiento diseñada y construida para recibir las descargas de aguas residuales domiciliarias, capaz de separar los sólidos suspendidos presentes, digerir una fracción de la materia orgánica y almacenar los lodos generados (**FIGURA 2.2**). La **TABLA 2.7** presenta datos para el dimensionamiento de fosas sépticas para uso doméstico.

Entre las ventajas de la fosa séptica se tienen:

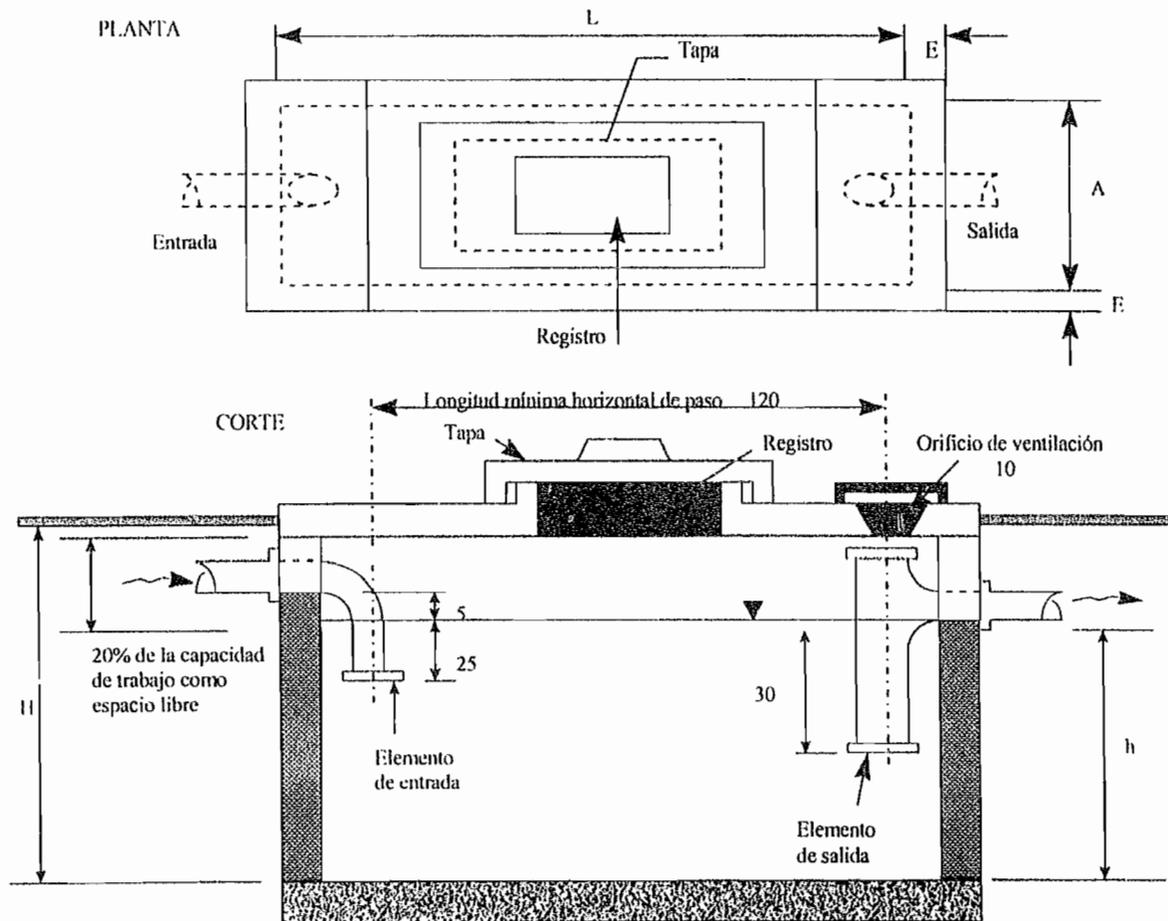
- \* Eficiencia en remoción de DBO<sub>5</sub> en un 40-60%
- \* Recomendable para casas aisladas o comunidades pequeñas (menos de 100 habitantes).
- \* Efluente clarificado, pero con alto contenido de patógenos

- \* Requerimiento mínimo de área (en función del número de habitantes, el área necesaria fluctúa entre los 2.2 m<sup>2</sup> hasta los 12 m<sup>2</sup>)
- \* Adaptable a todo tipo de clima
- \* Mantenimiento limitado y esporádico

Sus desventajas son:

- \* Efluente falto de oxígeno
- \* Concentración aun elevada de materia orgánica disuelta en el efluente
- \* Nivel freático debe estar a 1.5 m abajo del fondo del tanque

Su construcción en el lugar se basa principalmente en muros de tabique y losa tapa de concreto armado (TABLA 2.8). Aunque, la fosa también puede ser prefabricada de fibra de vidrio, concreto, acero, asbesto-cemento, polietileno.



\*Las medidas indicadas en la figura son constructivas mínimas

FIGURA 2.2 FOSA SÉPTICA COMÚN

**TABLA 2.7 CAPACIDAD Y DIMENSIONES DE FOSA SÉPTICA PARA SERVICIO DOMÉSTICO (SEDUE, 1990)**

Servicio Doméstico (usuarios)	Capacidad del tanque (litros)	L (cm)	A (cm)	h (cm)	H (cm)	E Tabique (cm)	E Piedra (cm)
Hasta 10	1500	190	70	120	168	14	30
11 a 15	2250	200	90	130	178	14	30
16 a 20	3000	230	100	140	188	14	30
21 a 30	4500	250	120	160	208	14	30
31 a 40	6000	290	130	170	218	28	30
41 a 50	7500	340	140	170	218	28	30
51 a 60	9000	360	150	180	228	28	30
61 a 80	12000	390	170	190	238	28	30
81 a 100	15000	440	180	200	248	28	30

- L largo interior del tanque  
 A ancho interior del tanque  
 h tirante mayor  
 H Profundidad máxima  
 E espesor de muros

**TABLA 2.8 CANTIDAD DE MATERIALES A EMPLEAR EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA FOSA SÉPTICA, EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS (SEDUE, 1990)**

MATERIAL	Unidad	NÚMERO DE USUARIOS								
		1-5	11-15	16-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-80	81-100
Tabique	pza	600	660	725	800	1760	1936	2128	2340	2574
Cemento	kg	305	335	365	400	440	484	532	585	644
Arena	m <sup>3</sup>	0.50	0.55	0.60	0.70	0.77	0.85	0.94	1.02	1.13
Grava (3/4")	m <sup>3</sup>	0.72	0.80	0.90	1	1.10	1.21	1.33	1.46	1.61
Acero #3	m	100	110	120	130	143	157	173	190	210
Cimbra	m <sup>2</sup>	9.20	10.15	11.15	12.24	13.46	14.81	16.30	17.92	19.71
Excavación	m <sup>3</sup>	11	12.10	13.30	14.56	16.02	17.62	19.38	21.32	23.45
Tubería de concreto simple 6"	m	3	3	3	3	3	3	3	3	3

**2.2.2 Fosa séptica doble cámara.** Consiste en un recipiente rectangular de doble cámara (dos compartimentos), el cual recibe el influente de aguas residuales por uno de sus extremos, entrando por la parte superior del recipiente donde se efectúa la sedimentación durante lapsos de 12 a 36 horas (**FIGURA 2.3**).

En una fosa séptica de doble cámara, el primer compartimento se utiliza para la sedimentación, digestión y almacenamiento del lodo. El segundo compartimento proporciona sedimentación y capacidad de almacenamiento del lodo adicional y, por tanto, sirve para proteger contra la descarga de lodo u otro material que pueda escaparse de la primera cámara.

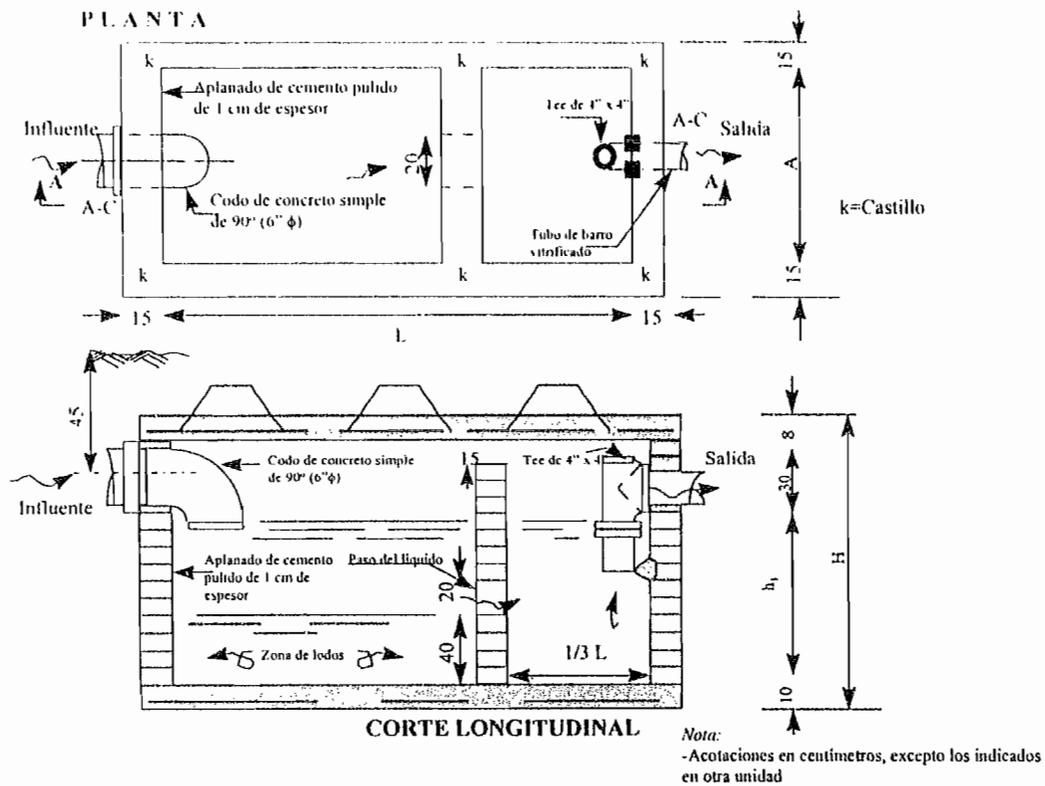
Las ventajas que ofrece este sistema son:

- \* Eficiencia en remoción de DBO<sub>5</sub> del 50-70%
- \* Requiere un mínimo de área (en función de los habitantes, el área necesaria es de 2.2 m<sup>2</sup> a 10 m<sup>2</sup>)
- \* Recomendable para todo tipo de clima
- \* Uso unifamiliar y multifamiliar

En general, para garantizar el adecuado funcionamiento de las fosas sépticas se debe realizar una inspección visual del contenido de la misma cuando menos cada seis meses. La fosa séptica debe ser limpiada antes que se acumulen demasiados flotantes que pudieran obstruir las tuberías de entrada o de salida, y que los lodos acumulados en el fondo de la unidad sean evacuados. Los lodos acumulados en la fosa séptica deben ser retirados cada doce meses como mínimo.

Su construcción se basa principalmente en muros de tabique y losas de concreto armado.

En la **TABLA 2.9** se muestran las dimensiones para una fosa séptica doble cámara. En la **TABLA 2.10** se dan las cantidades de materiales necesarios para la construcción de una fosa séptica doble cámara, en función del número de usuarios.



\* k = castillos

FIGURA 2.3 FOSA SÉPTICA DOBLE CÁMARA

TABLA 2.9 CUADRO DE DIMENSIONES PARA FOSA SÉPTICA DE DOBLE CÁMARA (SEDUE, 1990)

SERVICIO DOMÉSTICO (usuarios)	L (m)	A (m)	h <sub>1</sub> (m)	H (m)
Hasta 10	1.9	0.7	1.1	1.68
1 a 20	2.3	1.0	1.3	1.88
21 a 30	2.5	1.2	1.4	2.08
31 a 40	2.9	1.3	1.5	2.18
41 a 50	3.4	1.4	1.5	2.18
51 a 60	3.6	1.5	1.6	2.28
61 a 80	3.9	1.7	1.7	2.38
81 a 100	4.4	1.8	1.8	2.48

**TABLA 2.10 CANTIDAD DE MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA FOSA SÉPTICA DOBLE CÁMARA, EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIO.(SEDUE,1990)**

MATERIAL	NUMERO DE USUARIOS								
	Unidad	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-80	81-100
Tabique	pza	860	945	1035	1135	1248	1372	1510	1661
Cemento	kg	390	430	475	520	572	629	692	761
Arena	m <sup>3</sup>	0.55	0.605	0.665	0.73	0.80	0.880	0.968	1.065
Grava (3/4")	m <sup>3</sup>	0.70	0.80	0.90	1	1.10	1.21	1.33	1.21
Acero #3	m	105	115	125	137	150	165	181	200
Cimbra	m <sup>2</sup>	9.60	10.55	11.60	12.80	14	15.40	17	19
Excavación	m <sup>3</sup>	9.60	10.55	11.60	12.80	14	15.40	17	19
Tubería de concreto simple 6"	m	1	1	1	1	1	1	1	1
4"	m	2	2	2	2	2	2	2	2

Los tanques de dos compartimentos como el de la **FIGURA 2.3**, en los que la capacidad del primer compartimento es de la mitad a las dos terceras partes de la capacidad total, permiten mayor espaciamiento entre dos purgas de lodos consecutivas, que tanques de un solo compartimento de la misma capacidad total. La adición de nuevos compartimentos no tiene utilidad práctica.

**2.2.3 Fosa tipo Imhoff.** Es un tanque de concreto que puede alcanzar una profundidad hasta de 5 metros y cuyo diseño mejora los defectos del tanque séptico evitando la mezcla nuevamente de sólidos ya separados, proporcionando un efluente con calidad ligeramente superior a la de un tanque séptico, a la vez que se reducen los períodos de retención hidráulica. Consta de un compartimento de sedimentación, un compartimento de digestión y uno de natas (**FIGURA 2.4**). La **TABLA 2.11** presenta las dimensiones de los diversos elementos de este tipo de fosas.

Las ventajas que proporciona son:

- \* Eficiencia en remoción de  $DBO_5$ , 50-70%
- \* Útil para pequeñas comunidades (hasta 100 personas).
- \* Requiere de poca área (en función de los habitantes, el área necesaria es de 3 m<sup>2</sup> a 6 m<sup>2</sup>).
- \* No requiere energía eléctrica
- \* Produce un mínimo de olores

Sus desventajas son:

- \* Efluente con características sépticas, por lo que requiere un método de pulimento.
- \* Obra civil más compleja

Para mantenimiento es necesario extraer las natas manualmente mediante un desnatador cada 6 meses.

En cuanto a los materiales, este sistema se construye con base en muros de concreto armado.

**TABLA 2.11 DIMENSIONES REQUERIDAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA FOSA TIPO IMHOFF (SEDUE, 1990)**

No. de Usuarios	Volumen de agua Residual tratada	Altura total	Camara de Sedimentación				Camara de Digestión		
			L	b	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	L	B	h <sub>3</sub>
Hab.	m <sup>3</sup> /día	H <sub>T</sub> (m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0-25	3	2.45	1.80	0.60	0.20	0.50	1.80	1.35	0.50
26-50	6	2.75	2.40	0.60	0.25	0.50	2.40	1.35	0.75
51-75	9	3.00	3.00	0.60	1.30	0.50	3.00	1.35	0.95
76-100	12	3.30	3.20	0.80	1.30	0.70	3.20	1.55	1.05

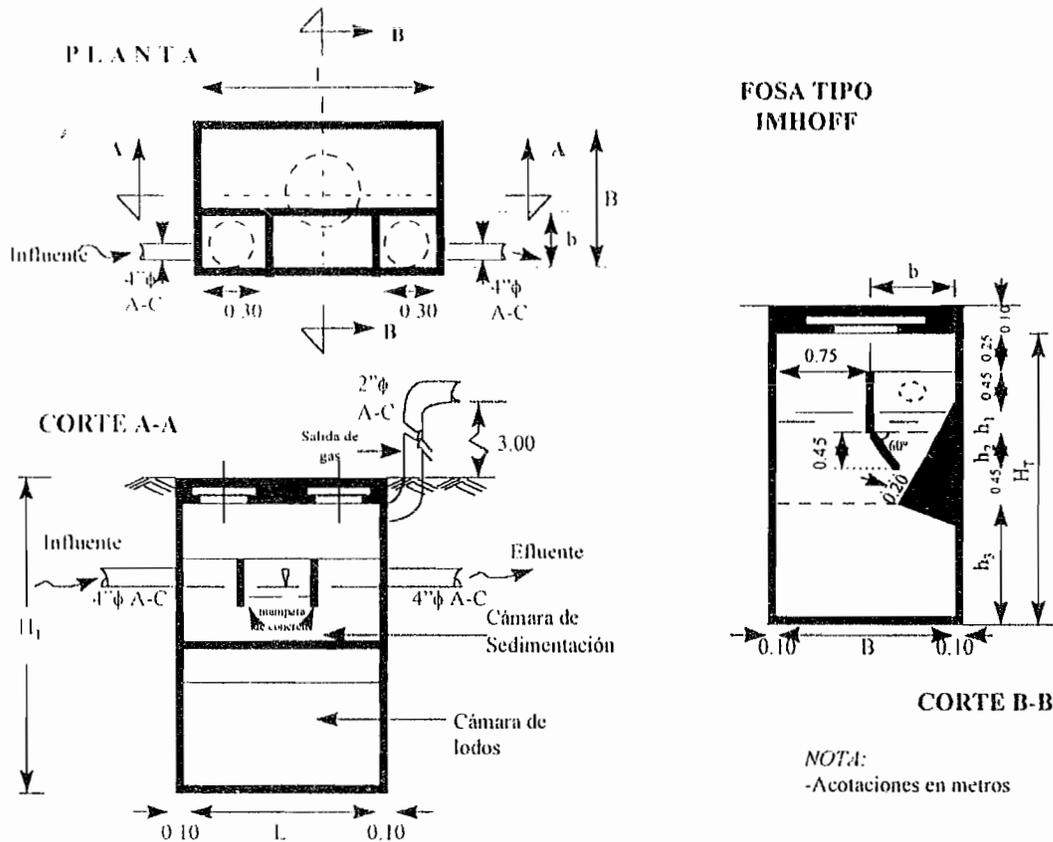


FIGURA 2.4 FOSA TIPO IMHOFF

### 2.2.4 Fosas Sépticas Prefabricadas.

Las fosas sépticas prefabricadas pueden clasificarse en función del material en que se fabrican, que puede ser acero al carbón con recubrimiento bituminoso, concreto, asbestocemento, polietileno de alta densidad y cualquier otro material que cumpla con una norma de producto emitida por una institución acreditada.

En el mercado existen algunos fabricantes de fosas prefabricadas como DYSA, ROTOPLAS, SANIMEX-MONTIEL. En el presente trabajo se presentarán las características de estas fosas.

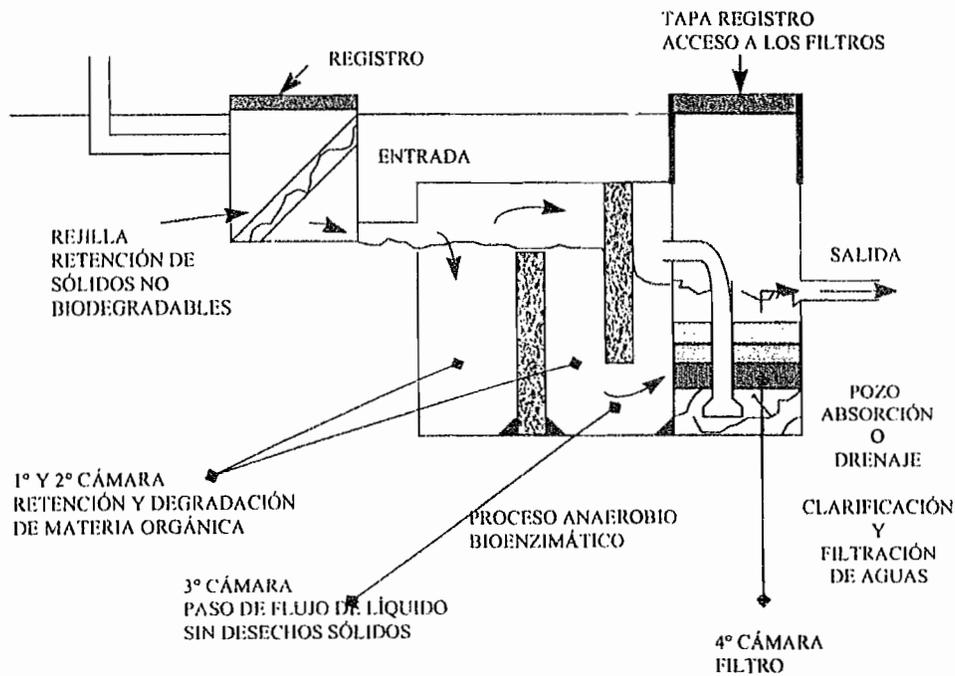
**2.2.4.1. "Fosas activadas" DYSA.** Este sistema recibe las descargas de aguas residuales domiciliarias (excretas, aguas negras y grises) con la finalidad de que los sólidos se sedimenten y digieran anaeróticamente (FIGURA 2.5).

El primer paso consiste en un registro con rejilla o malla que impida la entrada de desechos sólidos no biodegradables, así como provocar la disgregación de la materia orgánica gruesa y mantener la carga requerida a la fosa.

El segundo paso es el proceso "anaerobio-bioenzimático" y consta de 4 cámaras. En la primera y segunda cámara se hace el proceso de retención y degradación de materia orgánica en un proceso de fermentación, sedimentación y degradación a tamaños moleculares más bajos, capaces de ser transformados por vía anaerobia.

En la tercera cámara el fluido del agua es constante para clarificar el agua y pasar por un ducto a la cuarta cámara donde el líquido pasa por filtros para eliminar bacterias y gérmenes patógenos por medio de filtración ascendente, éste tipo de filtros realizan el proceso de remover materia orgánica soluble que permanece en el efluente. Esta materia orgánica es absorbida en los poros de las partículas del carbón activado, obteniéndose aguas residuales tratadas.

Las dimensiones de las fosas DYSA se muestran en la **TABLA 2.12**, en función del número de usuarios.



**FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

**FIGURA 2.5 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA FOSA SÉPTICA DYSA**

**TABLA 2.12 DIMENSIONES DE FOSAS ACTIVADAS DYSA**  
(datos del fabricante)

7	60	2.44	420
15	76	2.44	900
18	91	2.44	1080
25	107	2.44	1500
38	122	2.50	2280
50	152	2.50	3000
75	183	2.50	4500
100	213	2.50	6000
115	244	2.04	6900

**2.2.4.2. ROTOPLAS.** Las fosas sépticas de esta compañía están fabricadas con polietileno de alta densidad. Las capacidades de estas fosas son de 1000, 2000, 4000 y 9000 litros, con espesores de pared de 6 a 9 mm. Los elementos de entrada a la fosa son: 1 empaque de hule de 4", 1 codo de PVC de 4" y un tramo de 10 cm de PVC de 4". Los elementos de salida son 1 empaque de hule de 4" y 1 codo de PVC de 4".

Se establece por persona una evacuación de agua promedio de 150 litros diarios.

**2.2.4.3. SANIMEX MONTIEL.** La unidad de tratamiento es prefabricada de concreto armado reforzado, que se instala horizontalmente y es cilíndrica.

El proceso de tratamiento empleado por el fabricante es auto-bioenzimático, el cual consiste en el tratamiento anaerobio, es decir, en ausencia de oxígeno. Los tanques son inoculados con lodos que son cultivados por el fabricante en plantas piloto; los cultivos que emplean, al reproducirse en las aguas negras, se alimentan de ellas y a su vez como desecho producen gases, agua y enzimas, que catalizan y desintegran químicamente en sustancias más simples el resto de las aguas negras para facilitar su asimilación biológico y el ciclo se repite dando como resultado final agua y gas.

La fosa séptica está provista aparte de los compartimentos de oxidación, de dos depósitos dispuestos horizontalmente, uno inferior o hidráulico, así llamado por recibir las aguas residuales que ingresan al tanque. En la parte superior sobre la superficie del líquido queda el otro depósito más pequeño o neumático donde se acumulan los gases desprendidos, los que al acumularse se emulsionan en el líquido del depósito hidráulico hasta su saturación, verificándose entonces una descompresión; este ciclo que se repite indefinidamente (**FIGURA 2.6**).

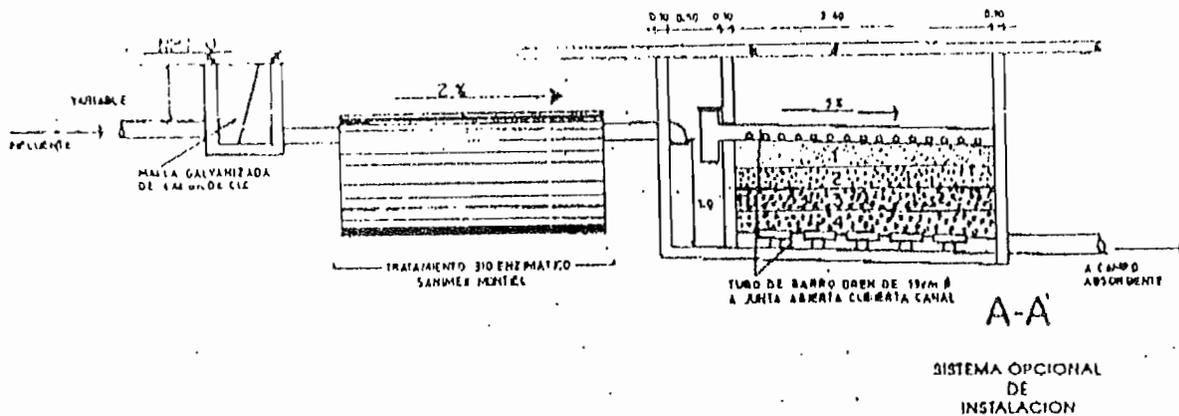


FIGURA 2.6 FOSA SÉPTICA SANIMEX-MONTIEL

En la TABLA 2.13 se muestra una lista de capacidades y medidas de las fosas sépticas fabricadas por SANIMEX-MONTIEL.

TABLA 2.13 LISTA DE CAPACIDADES Y MEDIDAS SANIMEX-MONTIEL  
(datos del fabricante)

10	2.44	60	75.2	76	900
20	2.44	76	93.8	89	1800
25	2.44	91	111.4	102	2300
35	2.44	107	129.8	117	2800
50	2.44	122	147.4	127	3600
64	2.44	152	182.6	153	4800
100	2.44	183	218.6	173	7000

**2.2.5 Tanque Imhoff.** Es un tanque de dos compartimentos, de sedimentación y almacenamiento de lodos, que combina la sedimentación en el compartimento superior y la digestión del lodo en el compartimento inferior. Un deflector, colocado entre ambos compartimentos, permite el paso de las partículas que sedimentan desde el compartimento superior al inferior, pero impide la ascensión de gases al compartimento de sedimentación, desviando los gases a un compartimento para espumas, desde donde escapan al aire. En la FIGURA 2.7 se muestra el corte y la planta de un tanque Imhoff.

Los tres compartimentos del tanque Imhoff son, el superior, llamado cámara de sedimentación o de escurrimiento; el inferior, llamado cámara de digestión; y el compartimento intermedio, abierto a la atmósfera, llamado cámara de espumas. La sedimentación de los sólidos sedimentables tiene lugar en la cámara de sedimentación, desde donde pasan, a través de una abertura situada en el fondo de la cámara de sedimentación, a la cámara de digestión. En esta última cámara, los sólidos se hidrolizan y digieren anaeróbicamente hasta metano y dióxido de carbono.

Los tanques Imhoff tienen la ventaja, sobre las fosas sépticas, de que no descargan lodo en el líquido saliente, salvo en casos anormales. El tanque Imhoff contribuye a la digestión del lodo mejor que una fosa séptica, y produce un líquido residual mejor que el de un tanque de sedimentación simple. El lodo procedente de los tanques Imhoff se seca y se evacua con más facilidad que el procedente de las fosas sépticas o de los tanques de sedimentación simple. Esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad. Cuando sale del tanque es casi negro, escurre libremente, y está lleno de pequeñas burbujas de gas, que se expande al cesar la presión que hay en el fondo del tanque, lo que da al lodo una consistencia porosa o esponjosa, que facilita la desecación. Cuando está seco, tiene un olor no desagradable, parecido al de la tierra de jardín y puede usarse para rellenos en terrenos baldíos, sin riesgo de ulterior putrefacción. No siempre ha dado resultado como fertilizante.

Los tanques Imhoff producen a veces malos olores, aun cuando se hagan funcionar debidamente. También tienen la tendencia a estimular la formación de espumas. Esta formación de espuma, semejante a veces a una ebullición, puede ser violenta, lanzando las espumas por las ventilas para gases, o el lodo, a través de la abertura, al interior de la cámara de sedimentación, con perjuicio para la calidad del líquido saliente o residual.

Las ventajas de emplear esta unidad son:

- \* Útil para pequeñas comunidades (la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA, recomienda su uso en poblaciones de 2 500 habitantes)
- \* Requiere de poca área (en función del número de habitantes, el área necesaria es de 4.30 m<sup>2</sup> a 60 m<sup>2</sup>)
- \* No requiere energía eléctrica
- \* Produce un mínimo de olores

El tanque Imhoff es un foso construido a base de muros de concreto armado.

En la **TABLA 2.14** se muestran las dimensiones necesarias para la construcción de un tanque Imhoff. En la **TABLA 2.15** se dan las cantidades de materiales necesarios para la construcción de un tanque Imhoff, en función del número de usuarios.

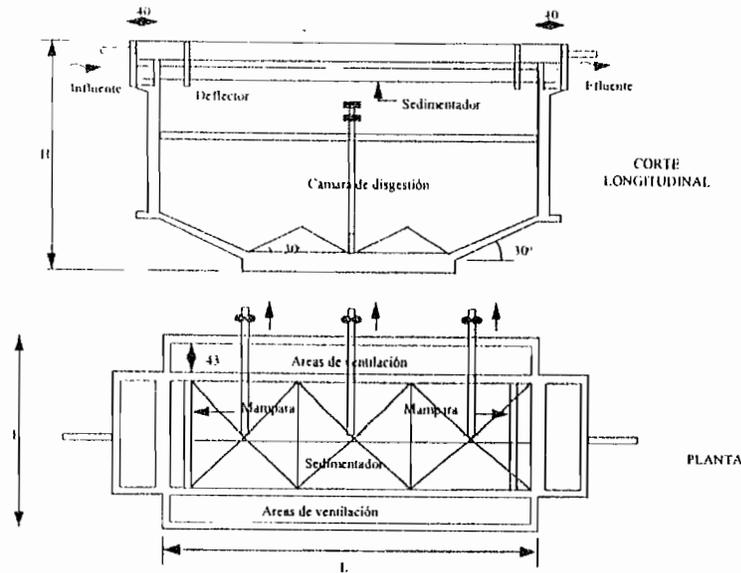


FIGURA 2.7 TANQUE IMHOFF

TABLA 2.14 CANTIDAD DE MATERIALES A EMPLEAR EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE IMHOFF, EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS (SEDUE, 1990)

MATERIAL	Unidad	NÚMERO DE USUARIOS						
		0-100	101-200	201-300	301-500	501-750	751-1000	1001-5000
Concreto f'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	3.68	5.64	6.96	9.28	12.01	15.07	37.04
Cimbra	m <sup>2</sup>	61	94	117	156	202	253	623
Acero (3/8")	kg	272	418	516	688	890	1117	2748
Excavación	m <sup>3</sup>	9.24	17.47	24.54	38.61	56.03	73.09	336
Tubería galvanizada de 0.13 mm	m	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Válv. de mariposa de 13 mm	pza	1	1	1	1	1	1	1

**TABLA 2.15 DIMENSIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE IMHOFF (SEDUE, 1990)**

No. de usuarios	Volumen de aguas residuales tratadas m <sup>3</sup> /día	Altura total H <sub>T</sub> (m)	Camara de Sedimentación				Camara de digestión			
			b (m)	h <sub>1</sub> (m)	h <sub>2</sub> (m)	L (m)	B (m)	h <sub>3</sub> (m)	L (m)	No. de tolvas
0-100	12	1.80	0.80	0.30	0.45	2.50	1.70	1.05	2.50	1.00
101-200	24	2.15	1.00	0.30	0.45	3.00	1.90	1.40	3.00	1.00
201-300	36	2.80	1.00	0.40	0.60	3.00	2.20	1.80	3.00	1.00
301-500	60	3.25	1.00	0.50	0.75	4.00	2.50	2.00	4.00	2.00
501-750	90	3.90	1.00	0.60	0.90	5.00	2.50	2.40	5.00	2.00
751-1000	120	4.00	1.20	0.60	0.90	6.00	2.70	2.50	6.00	2.00
1001-5000	600	5.125	3.00	0.75	1.13	10.00	6.00	3.25	10.0	3.00

Las unidades de tratamiento descritas anteriormente son sistemas anaerobios de biomasa en suspensión que requieren un método de disposición del efluente para su pulimento.

### 2.3 Tratamiento secundario

El tratamiento a nivel secundario conforma una serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento primario descrito anteriormente. Las unidades que proporcionan este nivel de tratamiento para caudales pequeños (< 190 m<sup>3</sup>/d) son las denominadas plantas paquete.

Las plantas paquete son unidades compactas de tratamiento, fabricadas generalmente en acero, manufacturadas totalmente en la fábrica y transportadas al sitio de ubicación del sistema de tratamiento, o aquéllas ensambladas parcial o totalmente en el sitio de instalación sin utilizar equipo grande o complicado.

Los procesos de tratamiento "in situ", existentes en el mercado, que proporcionan un tratamiento a nivel secundario y terciario son filtros biológicos, sistemas de lodos activados y sus variaciones, discos biológicos rotatorios y filtro de lecho de raíces.

Las principales características que deben reunir las plantas paquete son:

- Resistencia
- Simplicidad en la operación
- Confiabilidad
- Mínimo equipamiento
- Facilidad en la transportación
- Instalación con un trabajo mínimo de construcción en el sitio de ubicación

A continuación se describen algunas plantas paquete disponibles en el mercado nacional.

### 2.3.1 Filtro Biológico

Los filtros biológicos son procesos de biomasa fija que requieren de un medio de soporte estático (empaquete) colocado dentro de un tanque, generalmente circular, donde el agua residual pasa a través del empaque donde se adhiere el biofilm .

Las marcas de las plantas de tratamiento "*in situ*" que incluyen en su configuración el filtro biológico son: AERO-PAC C, FILTACLERE-P, BIOCLERE, EKOFINN BIOCLERE, Filtro Sumergido de Película Fija (Bio-Aire), Bioreactor Anaerobio Integrado (BRAIN).

#### 2.3.1.1 AERO- PAQ C

El filtro biológico sumergido aerobio conocido en el mercado bajo el nombre de AERO-PAQ C, oferta plantas de tratamiento hasta de 50 m<sup>3</sup>/d de capacidad.

Los componentes del sistema de tratamiento son: fosa séptica o tanque primario de sedimentación, tanque de bombeo y filtro biológico AERO-PAQ C.

Este sistema utiliza en combinación con el filtro biológico, una fosa séptica o un tanque primario de sedimentación, cuyo propósito es eliminar las grasas y reducir una fracción de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales, que pudieran obstruir el paso de agua o la adherencia del biofilm. La alimentación de agua al filtro biológico se realiza mediante una bomba sumergible y el aire requerido para mantener condiciones aerobias se suministra mediante un compresor que opera en forma continua cuando existe alimentación de agua residual. El voltaje necesario es de 120 V a 50 Hz.

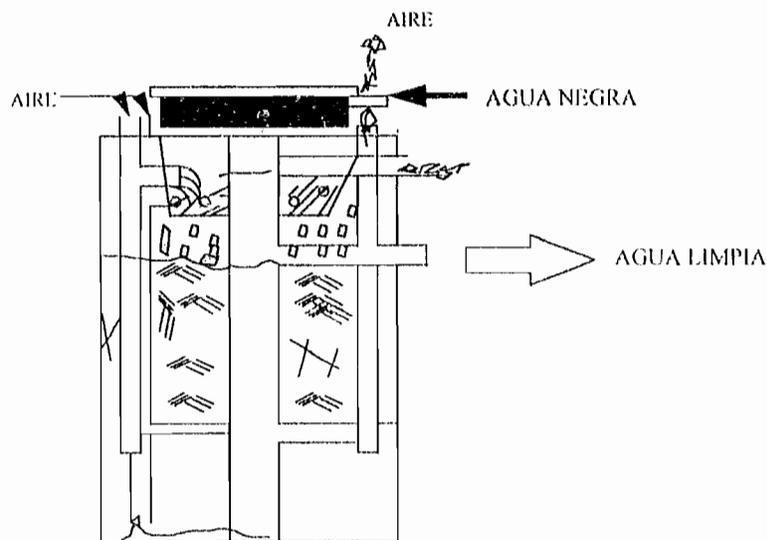
Posteriormente, por medio de la oxidación biológica de los componentes de las aguas residuales, los contaminantes se transforman en formas más estables, cuyo grado de estabilidad depende de lo completo que sea el contacto (**FIGURA 2.8**).

Entre sus ventajas se encuentran:

- \* Compacto
- \* Rapidez en la estabilización del proceso
- \* Tolerancia a variaciones en las concentraciones del influente
- \* Operación sencilla. El sistema es totalmente automático y no requiere de atención frecuente
- \* Instalación sencilla
- \* Se puede instalar en forma superficial, parcial o totalmente enterrado.

Sus desventajas son:

- \* Requiere energía eléctrica



**FIGURA 2.8. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS  
AERO-PAQ C (fabricante)**

### 2.3.1.2 *FILTACLERE-P*

FILTACLERE-P es una planta de tratamiento biológica basada en el principio del filtro percolador, con capacidades de tratamiento para caudales provenientes de casas habitación hasta poblaciones de 300 habitantes ( $60 \text{ m}^3/\text{día}$ ). Los componentes del sistema de tratamiento son: fosa séptica o depósito primario, filtro percolador y sedimentador.

El agua residual ingresa a la fosa séptica o depósito primario y posteriormente al filtro percolador FILTACLERE-P para su tratamiento biológico (*FIGURA 2.9*).

Una parte del líquido percolado a través del filtro se retorna a la cámara de bombeo y se recircula. El resto se desplaza a la zona de decantación de lodos donde los sólidos que caen del filtro decantan por gravedad y el efluente clarificado se descarga en el sitio de disposición final.

El sistema cuenta con una bomba de recirculación montada en la tubería de extracción de lodos, que devuelve periódicamente líquido tratado a la entrada del depósito primario, de esta forma se mejora considerablemente el funcionamiento de la planta frente a cargas fluctuantes.

Todos los modelos FILTACLERE-P incorporan 2 bombas (funcionamiento y reserva) que trabajan en ciclos automáticos de 10 horas, asegurando una máxima fiabilidad.

Las ventajas de este sistema son:

- \* El sistema de recirculación se ajusta a las variaciones de carga
- \* Instalación completamente cerrada.

Sus desventajas son :

- \* Requiere energía eléctrica
- \* Requiere de un pretratamiento, proporcionado por una fosa séptica o unidad similar



- \* Funcionamiento automático
- \* Ausencia de olores, ruidos y moscas
- \* Totalmente prefabricado
- \* Crecimiento modular

Sus desventajas son:

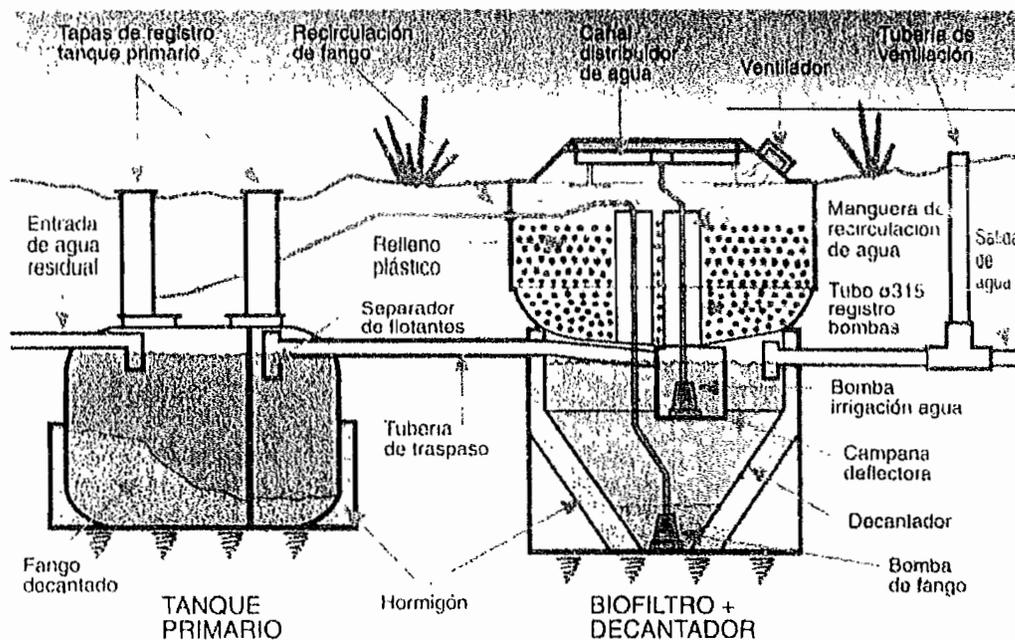
- \* Requiere de equipos electromecánico (bomba centrífuga sumergible y panel de control) y energía eléctrica (220 V a 50 Hz)

Los materiales de fabricación de la planta BIOCLERE son:

- El tanque de la unidad en poliéster-fibra de vidrio
- El medio de soporte en polipropileno o PVC

**TABLA 2.16 MODELOS DE BIOCLERE (datos del fabricante)**

Modelo	BC10	BC31	BC65	BC83	BC400	BC2000
Habit.	10	31	65	83	400	2000
Q (m <sup>3</sup> /día)	1.5	6.2	13	16.6	60	300
DBO <sub>5</sub> (kg/d)	0.6	1.86	3.9	5	24	120
m <sup>3</sup> relleno	1.2	3.8	7.8	10	25	168



**FIGURA 2.10 COMPONENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO BIOCLERE (fabricante)**

### 2.3.1.4 Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE.

El sistema de tratamiento propuesto es el siguiente: rejilla de cribado, trampa de grasas y aceites, fosa séptica, filtro biológico (en este caso, sólo se considerarán los modelos que cubren los caudales de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/día), desinfección y registro de descarga final.

En la **TABLA 2.17** se muestran los requerimientos y características de la planta de tratamiento **EKOFINN BIOCLERE**.

En este sistema, el flujo es por gravedad y la limpieza se realiza manualmente. En la fosa séptica se sedimentan los sólidos más pesados los cuales se digieren en forma anaerobia (SST reducción del 50%, DBO reducción del 30% y DQO reducción del 30%).

Esta unidad cuenta con un centro de control con temporizadores para una bomba y un ventilador, fusibles de protección, interruptor principal y contactos de alarma libres de potencia. La operación de este sistema es completamente automática.

Las desventajas de este sistema son: requiere de dispositivos electromecánicos especiales, requiere de energía eléctrica, los lodos generados requieren postratamiento, se requiere de un pretratamiento proporcionado por una fosa séptica o una proceso similar.

**TABLA 2.17 REQUERIMIENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA EKOFINN BIOCLERE (datos del fabricante)**

MODELO	Gasto (m <sup>3</sup> /día)	REQUERIMIENTOS					Filtro				
		A (m)	B (HP)	C (W)	D (A)	E (%)	F (m)	G (m)	H (m <sup>2</sup> )	I (kg)	J (lt/sem)
B30	7.5	4	1/3	24	10	90	2.1	1.8	3.3	270	2200
B55	13.7	6	5	24	10	90	2.3	2.2	3.9	440	4200
B75	18.7	10	5	24	10	90	2.4	2.4	4.3	630	6250

- A. Volumen de fosa séptica requerido en m<sup>3</sup>  
 B. Consumo de energía eléctrica, en HP  
 C. Requerimiento del ventilador en W  
 D. Fusible, en AMP  
 E. Eficiencia de remoción, en %  
 F. Diámetro del filtro, en m  
 G. Altura del filtro, en m  
 H. Área de la planta, en m<sup>2</sup>  
 I. Peso de la planta en kg  
 J. Volumen de lodos generados en lt/semestre

Para un buen funcionamiento del sistema, el fabricante hace las siguientes recomendaciones :

1. Operación y mantenimiento adecuado
2. No exceder los parámetros de diseño
3. Que el influente no contenga materiales biotóxicos (productos químicos, ácidos o álcalis fuertes).

### 2.3.1.5 Filtro Sumergido de Película Fija

La planta de tratamiento paquete de aguas residuales Filtro Sumergido de Película Fija (FSPF) degrada la materia orgánica a través de bio-torres aerobias o filtros inundados (en este caso, sólo se considerarán los modelos para tratar los caudales de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/día), y la separación de lodos se lleva a cabo mediante sedimentación secundaria.

En la **TABLA 2.18** se muestran las dimensiones básicas de la planta paquete en función del flujo de diseño.

**TABLA 2.18 DIMENSIONES BÁSICAS DE LA PLANTA PAQUETE EN FUNCIÓN DEL FLUJO DE DISEÑO (datos del fabricante)**

Flujo promedio de diseño	Dimensiones y altura
5 m <sup>3</sup> /día	1.8 x 1.2 = 2.16 m <sup>2</sup> con 1.6 m de altura
10 m <sup>3</sup> /día	2 x 2 = 4 m <sup>2</sup> con 1.6 m de altura
15 m <sup>3</sup> /día	3 x 2 = 6 m <sup>2</sup> con 1.6 m de altura

Entre las ventajas del sistema:

- \* Diseño compacto
- \* Planta construída en poliéster reforzado con fibra de vidrio, asegurando una mayor vida útil y resistencia
- \* El influente pasa a través de un tanque cerrado de igualación/clarificación primaria. Esto actúa como un tanque de balance
- \* No requiere ajuste diario o limpieza. La biomasa se autoregula
- \* Dado que el nivel de ruido del sistema es bajo, puede colocarse cerca de edificaciones sin causar molestias
- \* La operación es automática y no requiere supervisión calificada
- \* El sistema es modular, con bajo costo al requerir una expansión futura
- \* No produce malos olores
- \* Baja producción de lodos
- \* El panel de control está colocado internamente

Desventajas:

- \* Requiere de dispositivos electromecánicos
- \* Se necesita un sistema especial para el tratamiento de lodos

### 2.3.1.6 Bioreactor Anaerobio Integrado.

La planta paquete consiste básicamente, de un reactor anaerobio híbrido con filtro anaerobio de flujo ascendente en placas de sedimentación. El sistema puede alcanzar una eficiencia de eliminación de DQO del 70% al 80%.

En la **TABLA 2.19** se muestran datos para seleccionar el sistema BRAIN, para habitación unifamiliar y comunal.

**TABLA 2.19 TABLA DE SELECCIÓN DEL SISTEMA BRAIN, PARA HABITACIÓN UNIFAMILIAR Y COMUNAL (datos del fabricante)**

	UNIFAMILIAR	C O M U N A L		
Número de casas	1 a 2	29	58	116
Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	5	5	5	5
Total de habitantes	5 a 10	145	290	580
Aportación (lt/hab/día)	200	200	200	200
Construcción	Policetileno	concreto en sitio	concreto en sitio	concreto en sitio
Gastos				
Mínimo (l/s)	0.00434 a	0.125	0.250	0.50
Medio (l/s)	0.00868	0.250	0.500	1.00
Máximo instantáneo (l/s)	0.00868 a 0.1736	1.048	2.043	3.94
Máximo extraordinario (l/s)	0.0385 a 0.0766 0.0577 a 0.1154	1.572	3.065	5.91

El tren de tratamiento está desarrollado en tres elementos:

- a) El pretratamiento que integra las operaciones de rejas, separador de grasas y desarenador
- b) La unidad de tratamiento cuenta con procesos físicos y biológicos de tipo anaerobio, a nivel secundario con pulimento del efluente y está conformado por los siguiente elementos: tubo alimentador y de limpieza con difusor en el fondo, cámara de digestión, sedimentador de alta tasa con módulos tubulares, filtro biológico con

empaquete sintético, campana y conducto para la eliminación del gas y recolector perimetral con líneas dispensoras del efluente.

- c) Filtro de absorción para incorporar al terreno el agua tratada, el cual está empacado con material de alta permeabilidad.

Las ventajas del sistema son: la instalación no requiere equipo electromecánico, no requiere de insumos, operación relativamente simple y mantenimiento reducido debido a la extracción semestral de los lodos.

Durante la operación de esta planta se recomienda supervisar que no exista taponamiento en los difusores del flujo ascendente en la entrada que tienen un diámetro de media pulgada.

La velocidad ascensional de la primera cámara del reactor es baja, sin embargo se considera suficiente para expandir el manto de lodos logrando una adecuada difusión. El tiempo de residencia hidráulico es mayor de 24 horas, proporcionando una adecuada retención para gasto máximo y la eficiencia en el lecho expandido será 60% aproximadamente.

### **2.3.2 Tratamiento de aguas residuales por aireación extendida.**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales por aireación extendida, utilizan un proceso biológico conocido como digestión aerobia, mezclando extensivamente grandes volúmenes de aire con las aguas residuales que entran a la planta.

Básicamente, las plantas de aireación extendida pueden dividirse en cuatro elementos principales.

1. *Pretratamiento.* Los tres tipos básicos de mecanismos de pretratamiento son: rejillas, desmenuzadores y trampas de basura.

Las rejillas se utilizan para atrapar sólidos gruesos y prevenir que éstos entren en la planta. Un desmenuzador es propiamente un triturador diseñado para triturar o moler sólidos mayores. Los desmenuzadores deberán tener una rejilla alterna de protección adicional. El tercer tipo de mecanismo es un tanque de tratamiento o trampa de basuras, donde los materiales intratables se asientan y la materia orgánica sea pretratada y desintegrada, tanto física como bioquímicamente, antes de ser introducidos al tanque de aireación.

2. *Aireación* (por medio de difusores).

3. *Sedimentación* (los sólidos remanentes se asientan en el fondo del tanque).

4. *Equipos complementarios.* Cloradores de tabletas, hipocloración líquida y con gas, sistema de control de espuma, desnatador de superficie, programadores.

La tecnología desarrollada en los últimos años para optimizar este proceso ha dado como resultado que las plantas de tratamiento ofrezcan considerables ventajas sobre otro tipo de procesos, como son:

- \* *Reducción en la producción de excedente de lodos activados:* La última etapa de clarificación contiene un mecanismo de recirculación de lodos a la cámaras de aireación.
- \* *Eliminación total de olores:* Debido a que a las aguas residuales se les transfiere oxígeno al momento de entrar en contacto con la planta los olores desaparecen casi totalmente.
- \* *Reducción de la superficie necesaria para la planta:* Debido al diseño patentado de las boquillas inyectoras de aire que provocan que las burbujas de aire asciendan arrastrando los sólidos del fondo y ayudando a que las bacterias aerobias que se encuentran en los lodos activados utilicen el oxígeno para convertir las aguas residuales en líquidos y gases inofensivos, claros e inodoros, la planta se puede diseñar a diferentes profundidades, ahorrando superficie.
- \* *Bajo costo de operación y mantenimiento:* la planta cuenta con programadores de tiempo con sistema de arranque y paro automático, con lo cual el trabajo diario del operador es mínimo.

Las desventajas del sistema son :

- \* Requiere de personal especializado
- \* Las plantas no son fácilmente ampliables
- \* Requiere equipos complementarios

### 2.3.2.1 *Lodos activados Cromoglass*

El sistema de tratamiento está diseñado como un proceso de lodos activados, con alimentación continua y clarificadores batch.

La aplicación del proceso de lodos activados comienza con la introducción del agua residual a tratar en un reactor donde se mantiene el cultivo bacteriano aerobio en suspensión. Es necesario el empleo de difusores o aireadores mecánicos tanto para mantener las condiciones aerobias en el reactor, como para mantener el líquido en régimen de mezcla completa. Una vez completada la estabilización de la materia, el agua tratada se conduce a un tanque de sedimentación donde las células se separan del agua residual

tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula al reactor para mantener la concentración deseada en el mismo, mientras que la otra parte es purgada del sistema. Lo anterior es necesario, ya que de no ser así, la masa de microorganismos podría aumentar a tal grado de hacer inutilizable el sistema; el nivel al cual debe mantenerse la masa biológica depende de la eficiencia requerida del tratamiento y de la cinética de su crecimiento.

Es una planta paquete que presenta las siguientes ventajas: es modular, de fácil instalación y ocupa relativamente poco espacio. Las desventajas inherentes a este tipo de plantas son principalmente: alto costo de inversión inicial, alto grado de instrumentación, control avanzado, requerimientos de personal capacitado y calificado para su operación y crear cierta dependencia extranjera de tecnología y de insumos.

Cromoglass cuenta con nueve modelos, diseñados para tratar caudales de 1.9 m<sup>3</sup>/d hasta 45.4 m<sup>3</sup>/d (**TABLA 2.20**).

**TABLA 2.20 ESPECIFICACIONES ADICIONALES DEL SISTEMA**  
(Datos del fabricante)

Modelo	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Peso (kg)	Capacidad (m <sup>3</sup> /24 hr)	Volumen descarga (m <sup>3</sup> )	A*	B*	C*	D*	E*	F*
CA-5	2.4	1.7	1.7	204	1.9	0.32	6	3.5	4	1.25 lbs	8	15A-
CA-12	3.4	1.7	1.7	259	4.5	0.76	6	5.1	4.4	2.44 lbs	8	120V
CA-15	3.4	1.7	1.7	259	5.7	0.98	6	5.1	6.67	3.70 lbs	10	
CA-25	4.5	2.1	2.1	488	9.5	1.60	6	11	13.7	6.20 lbs	21	30A-
CA-30	4.5	2.1	2.1	578	11.4	1.51	8	11	23.5	7.50 lbs	22/30	230
CA-50	5.9	2.2	2.5	864	18.9	2.37	8	18.7	23.5	15 lbs	22/30'	V
CA-60	5.9	2.2	2.5	864	22.7	2.37	10	18.7	23.5	15 lbs	22/30'	30A-
CA-100	13.1	2.2	2.5	1633	37.9	3.79	10	34.8	43.7	24.3 lbs	52/64'	230V
CA-120	13.1	2.2	2.5	1633	45.4	3.79	12	34.8	43.7	24.3 lbs	52/64'	

A\* Descargas por día

B\* Volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

C\* Capacidad aireación (lbs O<sub>2</sub>/24 hrs)

D\* Carga orgánica (DBO, máx/24 hrs)

E\* Consumo energía (kwh/24 hrs)

F\* Amperes requeridos (120V/230V)

† Dependiendo de la carga biológica

El área requerida para la instalación del sistema dependerá del caudal de diseño. Por ejemplo, en el caso del modelo con capacidad de tratamiento de 5.7 m<sup>3</sup>/d, son necesarios 5.78 m<sup>2</sup> de terreno.

Los materiales de construcción de Cromoglass se muestran en la **TABLA 2.21**.

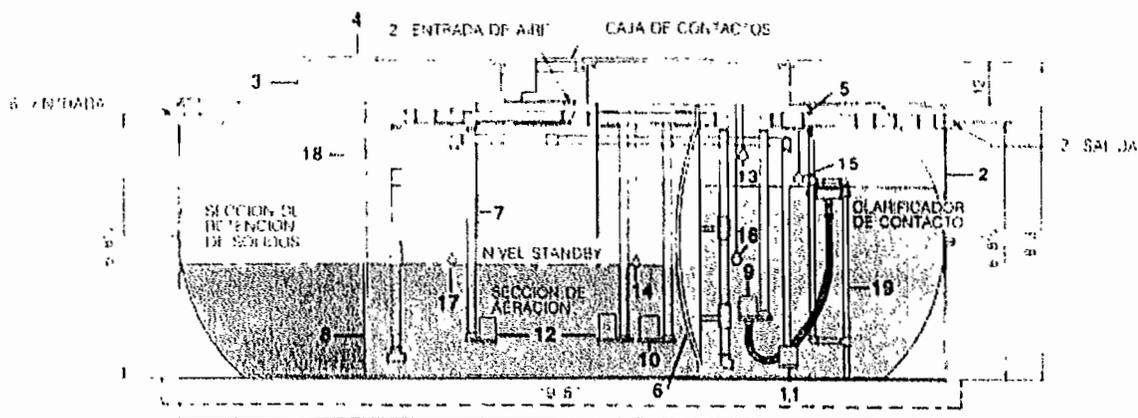
**TABLA 2.21 MATERIALES PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO CROMOGLASS**  
(Datos del fabricante)

CONCEPTO	MATERIAL
Tanque	Fibra de vidrio
Cámara de retención	Fibra de vidrio y malla anticorrosiva
Tubería	P.V.C.
Accesorios metálicos	Acero inoxidable

Con respecto a las eficiencias de tratamiento, Cromoglass ofrece el 96% en remoción de DBO y SST. El efluente se puede utilizar para riego, recircularlo a los tanque sanitarios o para infiltración ( **FIGURA 2.11**).

Este sistema de tratamiento no genera malos olores (siempre y cuando exista una adecuada aireación), ruido, ni aerosoles.

Los lodos generados se pueden transferir a un tanque de procesamiento de lodos (no incluido). La producción típica de lodos es de 164 kg de lodo/año (20 kg de lodo/100 kg de DBO removida, TRH = 21.5 hr). Requiere energía eléctrica, consume 10 KW-h/24 horas.



**FIGURA 2.11 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AEROBIA**  
**CROMOGLASS**



Este sistema se puede adaptar a centros de población o mancomunidades (*TABLA 2.22*):

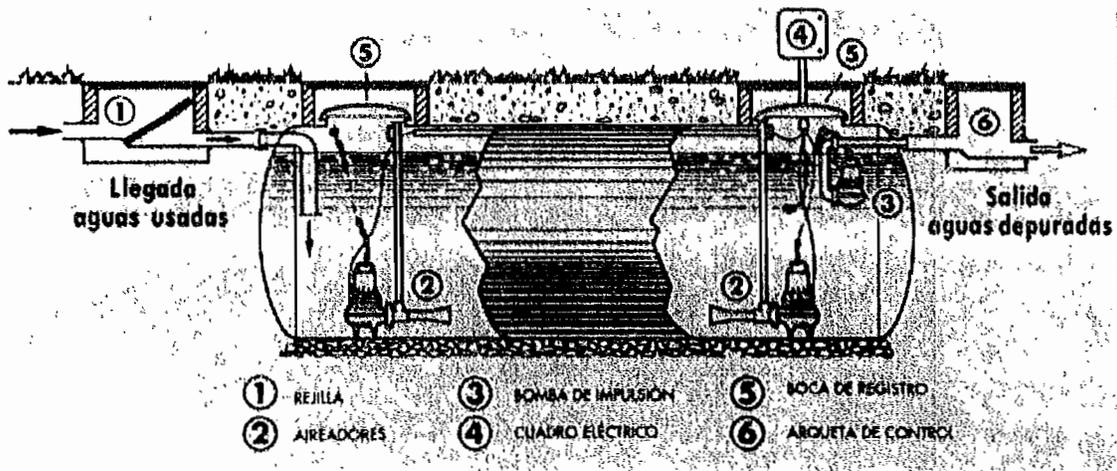
- Pequeñas y medianas poblaciones (hasta 6 000 hab., empleando un área máxima de 253 m<sup>2</sup>)
- Urbanizaciones
- Hoteles
- Universidades
- Centros comerciales, campamentos, etc.

*TABLA 2.22 MODELOS DE PERMEX (aireación prolongada, datos del fabricante)*

	GEA7	GEA10	GEA14	GEA18	GEA22	GEA28	GEA34
Equivalente de población	700	1.000	1.400	1.800	2.200	2.800	3.400
Caudal diario (m <sup>3</sup> )	126	180	252	324	396	504	612
Caudal máximo hora punta (m <sup>3</sup> )	15.75	22.50	31.50	40.50	49.50	63.00	76.50
Carga máxima diaria de D.B.O. (kg)	38.5	55.0	77.0	99.0	121.0	154.0	187.0
Diámetro depósito exterior (m)	7.68	9.39	11.09	12.80	14.51	16.22	17.93
Diámetro depósito interio (m)	4.26	5.12	5.98	6.83	7.68	8.54	9.39
Profundidad total depósito (m)	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10

### 2.3.2.3 Estación BIOTRIT

La estación BIOTRIT proporciona un tratamiento de aguas usadas por un proceso cíclico de aireación/decantación, neutralizando los caudales punta (*FIGURA 2.13*).



*FIGURA 2.13 ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO BIOTRIT*

La estación BIOTRIT utiliza un sistema denominado OXYJET, que consiste en una depuración realizada por ciclos sucesivos programados siguiendo el número de usuarios previstos.

La capacidad máxima de esta planta es de 400 usuarios (80 m<sup>3</sup>/día) y el área máxima requerida es de 7 m<sup>2</sup> (TABLA 2.23).

**TABLA 2.23 DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN BIOTRIT, EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS.**

No. de Usuarios	30	50	80	100	150	200	250	300	400
Longitud total	3.90	3.50	4.50	5.50	6.20	7.60	9.00	11.90	14.80
Diámetro	1.90	2.50	2.50	2.50	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Peso (toneladas)	1.50	1.70	2.20	2.50	3.40	4.00	4.80	6.00	7.50
No. de aireadores	1	1	1	1	1	2	2	2	2

Estas estaciones pueden estar completamente enterradas, cualquiera que sea su capacidad, son silenciosas, y no existe presencia de olores.

#### 2.3.2.4 Aireación Extendida

El proceso propuesto es una depuración biológica a base de lodos activados a baja carga (aireación prolongada).

Este proceso, al que se conoce también por oxidación total, es una modificación del proceso de lodos activos. La idea fundamental de la aireación prolongada, al compararla con el proceso convencional de lodos activos, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia; de esta forma el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activos. Como consecuencia de todo ello, esencialmente todo el lodo degradable formado se consume mediante respiración endógena. Con este proceso se asegura una alta eficiencia en la remoción de contaminantes (hasta 90%).

En estos equipos la edad de los lodos puede alcanzar unas tres semanas, luego se hallan suficientemente mineralizados para poder ser enviados sin molestia particular a los lechos de secado o ser evacuados mediante volquetes de vaciado. La calidad del tratamiento corresponde a niveles de 30 mg/l de DBO<sub>5</sub>, 90 mg/l de DQO y 40 mg/l de NKL, es decir, este sistema cuenta con una eficiencia de depuración obtenida en el tratamiento llegando a

ser hasta de un 95% en DBO<sub>5</sub> y una reducción de lodos con un alto grado de estabilidad de los mismos.

El sistema está compuesto por las siguientes unidades :

- Cárcamo de bombeo o registro de entrada.
- Planta paquete de tratamiento de aguas residuales (en éste caso sólo se considerarán las plantas para caudales de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/d), ver TABLA 2.24.
- Finalmente el agua pasa por gravedad hasta el punto de descarga final.

**TABLA 2.24 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS DE PLANTAS PAQUETE  
AIREACIÓN EXTENDIDA (Datos del fabricante)**

Modelo	PQE-001	PQG-002	PQE-003
Marca	AESA	AESA	AESA
Volumen diario (m <sup>3</sup> /día)	5.0	10.0	15.0
Caudal medio (m <sup>3</sup> /h)	0.21	0.42	0.63
Caudal de punta (m <sup>3</sup> /h)	1.04	2.08	3.13
Carga contaminante (kg/DBO <sub>5</sub> /día)	1	2.0	3.0
Carga volúmica (kg/DBO <sub>5</sub> /día)	0.32	0.32	0.32
Largo (m)	2.483	2.662	3.854
Ancho (m)	1.40	2.28	2.28
Altura (m)	2.36	2.36	2.96
Peso en operación (ton)	8.0	12.0	19.0
Volumen de aireación (m <sup>3</sup> )	3.5	6.5	10
Superficie decantador (m <sup>2</sup> )	2.32	4.64	6.65
Caudal de aire (m <sup>3</sup> /h)	11.11	22.2	33.33
No. de difusores (piezas)	2	4	6
Tipo de difusores	Burbuja media	Burbuja media	Burbuja media
Eficiencia remoción DBO <sub>5</sub> (%)	90	90	90
Material de fabricación	Placa AC (A-36)	Placa AC (A-36)	Placa AC (A-36)
Protección interior	Epóxica alquitrán	idem	idem
Protección exterior	hulla	Epóxica	Epóxica
Volumen decantado (m <sup>3</sup> )	Epóxica 2.02	4.04	6.06

La planta paquete es un sistema compacto en un sólo bloque para diferentes capacidades. Estos sistemas cuentan también con sedimentador de lodos y tratamiento con cloro. Las etapas de tratamiento con que cuentan los equipos son : Desbaste, aireación por difusión, clarificación y recirculación de lodos. La capacidad de tratamiento y el dimensionamiento del sistema son función del número de personas o habitantes en una población.

Los sistemas Aireación Extendida tienen la facilidad de instalarse enterrados o a nivel del suelo. En el caso de instalarse a la intemperie, debe contar con una base de concreto o grava para mantener firme el sistema o bien si se requiere, instalarlos enterrados.

### *Ventajas de las plantas paquete Aireación Extendida*

- Eficiencia de depuración de DBO del 95%
- Agua tratada libre de malos olores y molestias, facilitando su uso para riego de jardines o bien para ser reutilizada en servicios sanitarios
- La ventaja principal del proceso de aireación prolongada es que las instalaciones para la manipulación de lodos son muy pequeñas al compararse con las que se necesitan en el proceso de lodos activos

### *Desventajas*

- Requiere de piezas especiales
- Requiere de energía eléctrica

### **2.3.3 Proceso R.B.C.**

El Contactor Biológico Rotativo, RBC (Rotating Biological Contactors), o más comúnmente llamado Biodisco, es un sistema de tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. En el caso de los RBC, la biomasa se presenta simultáneamente en la forma fija (como en el caso de los filtros percoladores) y de crecimiento en suspensión (como en el caso de las unidades de lodos activos).

En la **FIGURA 2.14** se presenta un diagrama de una unidad típica de cuatro etapas.

Cada etapa está formada por una serie de discos no muy separados, normalmente fabricados de polietileno. Estos discos se mantienen paralelos entre sí y unidos a un eje horizontal que pasa a través de sus centros.

La instalación paquete consiste en una unidad de plancha de acero, dividida en tres compartimentos principales:

- Una unidad de presedimentación para los materiales finos con un compartimento para la disolución y acumulación de los aceites separados
- Una unidad de oxidación biológica en la que se instala el filtro "turbo-disc" con un tabique divisorio especial para la separación de las dos etapas
- La zona de sedimentación final, obtenida con construcciones laminares o con un filtro mecánico. La unidad interna de oxidación está especialmente protegida por un cobertura chapada de PVC que evita el crecimiento de las algas en la pared del biodisco.

Las principales ventajas de la utilización de un proceso RBC, son:

- \* Bajo consumo de energía y mantenimiento más sencillo que el proceso convencional de lodos activados.
- \* Flexibilidad, para trabajar a caudales inferiores a los de diseño, en cuya situación se comportan aumentando la calidad del agua tratada.
- \* Bajo mantenimiento y control del proceso, debido a que no es necesario efectuar recirculación alguna de lodos biológicos al proceso.
- \* Ausencia de malos olores.
- \* Reducción del espacio y volumen necesarios.
- \* Facilidad de construcción gradual. Al tratarse de un proceso de construcción modular, se facilita la ampliación gradual del mismo en función de las necesidades de depuración.
- \* La biomasa presenta en general buenas características de sedimentación con lo que se disminuyen los costos de la clarificación secundaria.

Desventajas:

- \* Requiere de una bomba sumergible.
- \* Requiere de energía eléctrica.
- \* Se debe controlar la velocidad de rotación.
- \* La presencia de una pequeña película líquida de gran superficie sobre la zona húmeda de los discos expuesta al medio ambiente, lo que lleva al peligro de congelación en el caso de operación en climas fríos. En este caso las unidades deben alojarse en alguna zona cerrada.

En este sistema se pueden tratar hasta 15 m<sup>3</sup>/d, el requerimiento máximo de área es de 7 m<sup>2</sup> (TABLA 2.25).

**TABLA 2.25 DIMENSIONES DE LAS PLANTAS PAQUETE DE BIODISCOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**  
(datos del fabricante, Eco-Pack)

Modelo	Etapas	Material	Longitud	Ancho	Altura
			(m)	(m)	(m)
TD 125/100/1	1	Acero Inox.	2.35	1.9	2.05
TD 160/100/1	1	Acero Inox.	2.7	1.9	2.2
TD 195/100/1	1	Acero Inox.	3.25	1.9	2.35
TD 230/100/1	1	Acero Inox.	3.6	1.9	2.8

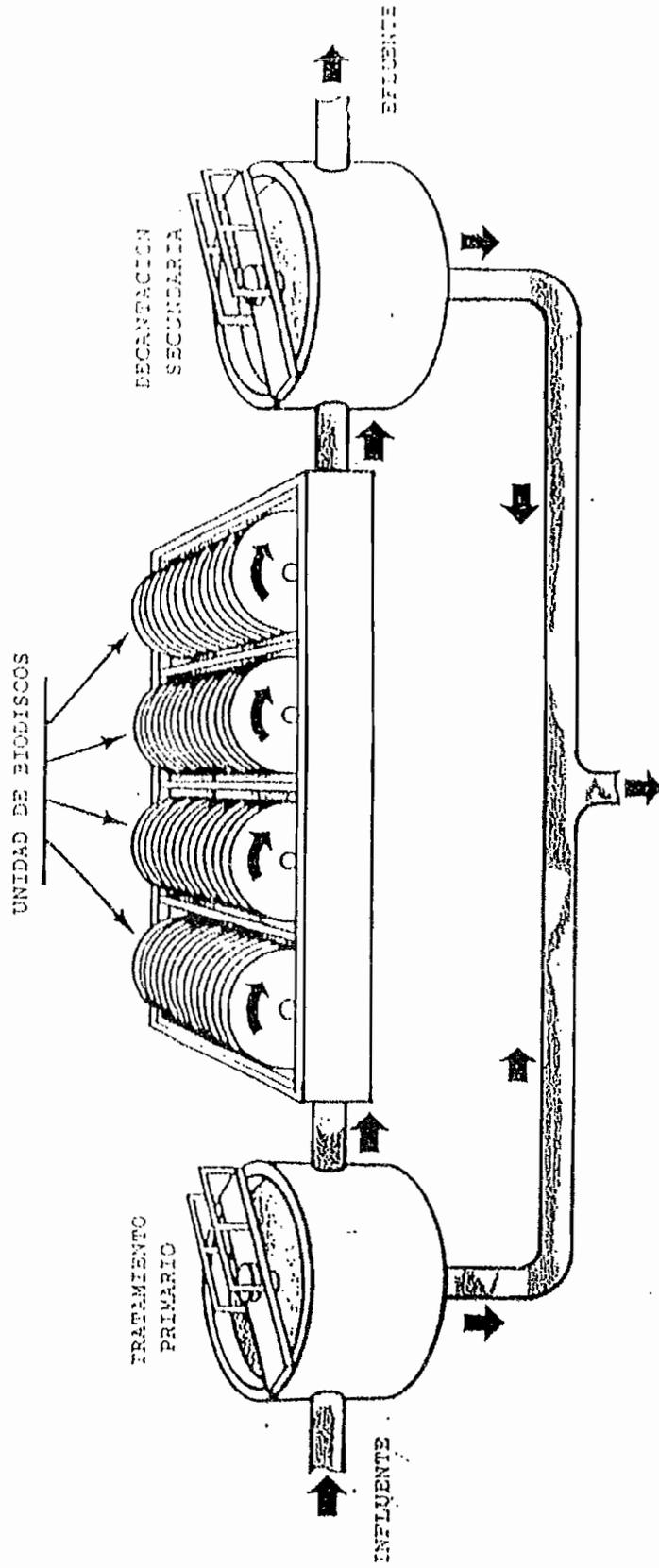


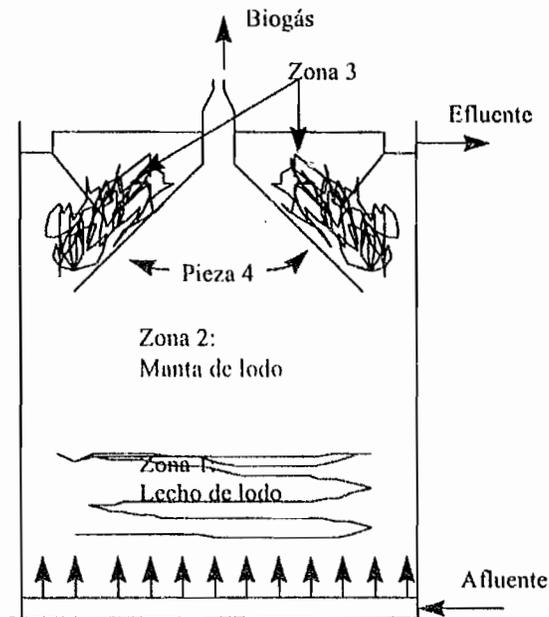
FIGURA 2.14 ESQUEMA DE UN PROCESO R.B.C.

### 2.3.4 Planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland)

Esta planta de tratamiento consta de un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB ; Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) y manto de lodos, en la cual todos los sólidos son digeridos y posteriormente los lodos eliminados.

En el UASB , el agua residual entra por debajo del reactor, y el efluente tratado sale por la parte superior. El reactor no contiene material de soporte para el crecimiento biológico. Éste se realiza mediante la capacidad de autoinmovilización de los microorganismos, ya que la velocidad ascensional del líquido evacúa las partículas poco sedimentables.

El lodo formado en el reactor puede considerarse dividido en dos zonas. La zona I, se llama "lecho de lodo" y la zona 2 es la "manta de lodos". La diferencia entre las dos zonas es que el lodo en la primera es mucho más compacto que en la segunda. Un diagrama típico de un UASB aparece en la **FIGURA 2.15**



**FIGURA 2.15 REACTOR UASB.**

La pieza 4 del diagrama sirve de sedimentador de lodo y de colector de gas. La pantalla crea una zona de bajo nivel de turbulencia (zona 3) donde un 99% del lodo en suspensión se sedimenta y es retornado al reactor. La pieza 4 recupera el biogás que sale por el

centro. La biomasa en el UASB está formada de gránulos de 3 a 4 mm que tienen altas velocidades de sedimentación, y por consiguiente son casi totalmente retenidos en el reactor. Habrá acumulación de biomasa en el reactor si la producción neta supera las pérdidas por arrastre en el efluente, o sea la purga.

El sistema de tratamiento incluye un reactor UASB y una unidad de pulimento con base a humedales de flujo subterráneo, que tiene como objetivo disminuir el contenido de sólidos y mejorar la remoción, de tal manera que dicho reactor alcanza una eficiencia general de remoción del 70% mientras que la cantidad de sólidos suspendidos volátiles, que remueve el reactor serán de un 80%.

El efluente es recogido mediante una tubería flexible colocada perimetralmente, con perforaciones para la recolección del agua y conducirla al sitio de disposición. El proceso no requiere sistema de desinfección, la DBO<sub>5</sub> de salida del sistema es de aproximadamente 20 mg/l y la cantidad de sólidos suspendidos volátiles son de cerca de 20 mg/l, con menos de 100 coliformes fecales por 100 ml/NMP.

La capacidad máxima para la que este sistema es recomendado es de 100 personas, pues para caudales mayores hay otras alternativas más económicas (**TABLA 2.26**).

**TABLA 2.6 ÁREA MÍNIMA REQUERIDA POR EL ENTRAMADO BIOLÓGICO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO**  
(datos del fabricante)

Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /día)	Área mínima requerida (m <sup>2</sup> )
5	47
10	90
15	133

Este sistema no requiere de equipo mecánico para su operación y en general los materiales que se necesitan para su construcción son accesibles.

Las desventajas de este sistema son: tiene limitaciones hidráulicas (para caudales mayores a los 200 m<sup>3</sup>/día o poblaciones mayores a 100 habitantes no es recomendable el uso de este sistema), el área requerida para el sistema es grande; el sistema es superficial, lo cual, sin una adecuada operación puede propiciar problemas de procreación de insectos y de tipo estético.

Todas las unidades de tratamiento requieren de un sistema de disposición del efluente, es decir un cuerpo receptor (cuerpo de agua, suelo o reúso), donde se deposite el efluente donde se desee de manera segura. El efluente que se dispone, debe tener ciertas características de calidad, establecidas por la Norma Oficial Mexicana, para que no produzca un impacto negativo a la salud de la población y al medio donde se disponga.

### 3. CALIDAD DEL EFLUENTE TRATADO

En México los recursos hídricos son propiedad de la Nación, por lo que su uso y aprovechamiento se encuentran legislados, teniendo como instrumentos leyes, reglamentos y normas.

Una Ley es una norma de conducta social cuyo cumplimiento impone obligatoriamente la autoridad pública.

Un Reglamento es una colección ordenada de reglas o preceptos.

Una Norma es una regla que se debe seguir. Las normas son herramientas esenciales en la interacción de las personas con su ambiente.

La normalización es la actividad que fija las bases para el presente y para el futuro, con el propósito de realizar un orden, para el beneficio y con el concurso de todos los intereses. La normalización es pues, el proceso de elaboración y aplicación de las normas; normalizar significa ordenar y en consecuencia sus resultados, las normas, son herramientas de organización y dirección.

Como se especificó con anterioridad, el nivel de tratamiento requerido por un agua residual dentro de un proyecto específico, estará supeditado por las características del agua a tratar y por los requerimientos de calidad del agua tratada. Dentro de estos requerimientos se tienen los requisitos legales, los cuales fijarán las condiciones particulares de las descargas, a fin de evitar problemas de contaminación posteriores a su disposición final.

Más de 24 millones de habitantes del país viven en localidades menores a 2 500 habitantes, y requerirán, en gran medida, de la utilización de algún sistema de tratamiento "*in situ*". En la selección de un sistema de tratamiento "*in situ*", es necesario considerar la normatividad vigente nacional y en la localidad.

El fundamento técnico que da origen legislar las descargas de origen doméstico se basa en que en las comunidades rurales y marginadas donde no se cuenta con drenaje sanitario, uno de los principales problemas de salud es la contaminación del agua, los alimentos y el ambiente, porque se carece de sistemas sanitarios adecuados para el confinamiento y tratamiento de las excretas humanas. El problema se acrecienta en la época de lluvias, porque la materia fecal es arrastrada hasta las fuentes de abastecimiento o puede ser infiltrada hacia los acuíferos.

---

Por lo anterior, es necesario establecer los límites máximos permisibles que deben cumplir las descargas provenientes de estos sistemas destinados a disminuir los focos de infección en beneficio de la salud humana y a no contaminar las fuentes de abastecimiento de agua.

### 3. 1 Norma Oficial Mexicana-001 (NOM-001-ECOL-1996)

La norma que actualmente se encuentra vigente es la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.

Esta Norma, referida a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales, es expedida por la Secretaría del medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Esta Norma entró en vigor el día siguiente de su publicación; sin embargo, establece plazos para su cumplimiento (*TABLA 3.1*)

***TABLA 3.1 FECHAS DE CUMPLIMIENTO DE LA NOM-001-ECOL-1996, PARA LOS RESPONSABLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES***

<b>FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:</b>	<b>INTERVALO DE POBLACIÓN</b>
1 enero 2000	mayor o igual a 50 000 habitantes
1 enero 2005	mayor o igual a 20 000 habitantes
1 enero 2010	mayor o igual a 2 500 habitantes

La Norma especifica los límites máximos permisibles en las descargas para los contaminantes básicos, mostrados en la *TABLA 3.2*.

Además, con respecto a la cantidad de microorganismos, indica que el límite máximo permisible para la concentración de contaminantes patógenos para las descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores es de 1 000 y 2000 el número más probable (NMP)

de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente. También, para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), el límite máximo permisible de huevos de helmintos para riego restringido es de cinco por litro; para riego irrestricto es de uno por litro.

Esta norma indica las concentraciones de contaminantes que debe contener el agua tratada en función del cuerpo receptor, así como del uso a que se destinará el líquido, como puede ser uso público urbano, en riego agrícola, recreación, explotación pesquera o recreación.

Con estricto apego al cumplimiento de esta Norma, existen alternativas tecnológicas para cumplir con las especificaciones indicadas.

En la **TABLA 3.3** se muestra el nivel de cumplimiento de los parámetros establecidos en la NOM para diferentes sistemas de tratamiento "*in situ*".

**TABLA 3.2 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS  
(NOM-001-ECOL-1996)**

PARAMETROS	RIOS				EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO				HUMEDALES NATURALES
	Uso público urbano		Uso de riego agrícola		Uso público urbano		Uso de riego agrícola		Recreación		Explotación pesquera, piscicultura y otros usos		Estuarios		Uso de riego agrícola		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
(miligramos por litro, excepto cuando se especifica)																	
Temperatura (°C)	40	40	NA	NA	40	40	NA	NA	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40
Grasas y Aceites	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15
Materia flotante	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Sólidos Suspendidos totales	75	125	100	175	40	60	75	125	75	125	100	175	75	125	NA	NA	75
Demanda Bioquímica de Oxígeno T.	75	150	100	200	30	60	75	150	75	150	100	200	75	150	NA	NA	75
Nitrógeno total Kjeldahl	15	25	15	25	5	10	15	25	NA	NA	NA	NA	15	25	NA	NA	NA
Fósforo total	10	20	10	20	5	10	10	20	NA	NA	NA	NA	10	20	NA	NA	NA

P.D. = Promedio diario  
P.M. = Promedio mensual  
A = Ausente  
N.A. = No es aplicable

**TABLA 3.3 CUMPLIMIENTO DE LA NORMA (NOM-001-ECOL-1996) DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU" DISPONIBLES EN EL MERCADO**

SISTEMA	RÍOS		LAGUNALES NATURALES Y ARTIFICIALES		AGUAS COSTERAS		SUELO		HUMEDALES NATURALES
	Uso público (uso agrícola, recreativo)	Uso en riego (uso agrícola)	Uso en riego (uso agrícola)	Uso en riego (uso agrícola)	Explotación pesquera, recreativa y turística	Explotación	Uso en riego (uso agrícola)	Uso en riego (uso agrícola)	
Fosa Séptica Común	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Fosa Séptica Doble Cámara	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Fosa tipo Imhoff	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Tanque Imhoff	NC	C	NC	C	C	C	C	C	C
Bioreactor Anaerobio Integrado	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Lodos activados	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Aireación extendida	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Filtro Biológico Sumergido	C	C	C	C	C	C	C	C	C
R.B.C. (biodiscos)	C	C	C	C	C	C	C	C	C

C. El tratamiento cumple con la norma  
 NC. El tratamiento no cumple con la norma, requiere de un método de pulimento del efluente

### **3.2 Sanciones**

Un aspecto a considerar es el referente a las sanciones establecidas por el incumplimiento de la Norma.

La vigilancia del cumplimiento de la NOM-001-ECOL-1996 corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca por conducto de la Comisión Nacional del Agua y de la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

## 4. MÉTODOS DE DISPOSICIÓN DEL EFLUENTE

Una vez que las aguas residuales han sido tratadas y cuentan con una calidad del efluente adecuada para su disposición (especificada por normas), éste se debe disponer en un sitio en el que no produzca problemas a la comunidad y al ambiente.

Las alternativas de disposición de las aguas residuales tratadas son, su descarga en un cuerpo de agua, y sobre o bajo la superficie del terreno, de esta forma, los métodos de disposición aplicables a sistemas “*in situ*” son:

- a) Cuerpo receptor
  - a.1 Disposición en el terreno
  - a.2 Disposición en un cuerpo de agua
- b) Reúso

### 4.1 Cuerpo Receptor

#### 4.1.1 Disposición en el terreno

El efluente obtenido en algunas unidades (fosa séptica y doble cámara, tipo Imhoff) empleadas en el tratamiento “*in situ*”, los efluentes son relativamente bajos en SS (sólidos suspendidos), pero tienen un alto contenido orgánico y grandes cantidades de bacterias. La disposición indiscriminada de un efluente de dichas características en el ambiente significaría riesgos para la salud.

En la **TABLA 4.1** se indican las distancias mínimas requeridas para la ubicación de las unidades de tratamiento de aguas residuales.

**TABLA 4.1 DISTANCIAS MÍNIMAS REQUERIDAS PARA LA UBICACIÓN DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO**

Distancia (m)	
Distancia a embalses o cuerpos de agua utilizados como fuentes de abastecimiento	60.00
Distancia a pozos de agua	30.00
Distancia a corrientes de agua	15.00

Entre las alternativas para la disposición del efluente sobre el terreno se encuentran:

#### 4.1.1.1 Inundación y riego con aguas residuales tratadas

La inundación con aguas residuales tratadas consiste en derramar éstas sobre la superficie del terreno, evaporándose una parte e infiltrándose el resto.

El suelo más adecuado para la inundación, es un suelo poroso arenoso, con suficiente pendiente y un buen drenaje subterráneo. Lo suelos arcillosos impermeables o compactos, son inadecuados y no deben usarse, porque se endurecen en la superficie, o en tiempo de calor, forman grietas.

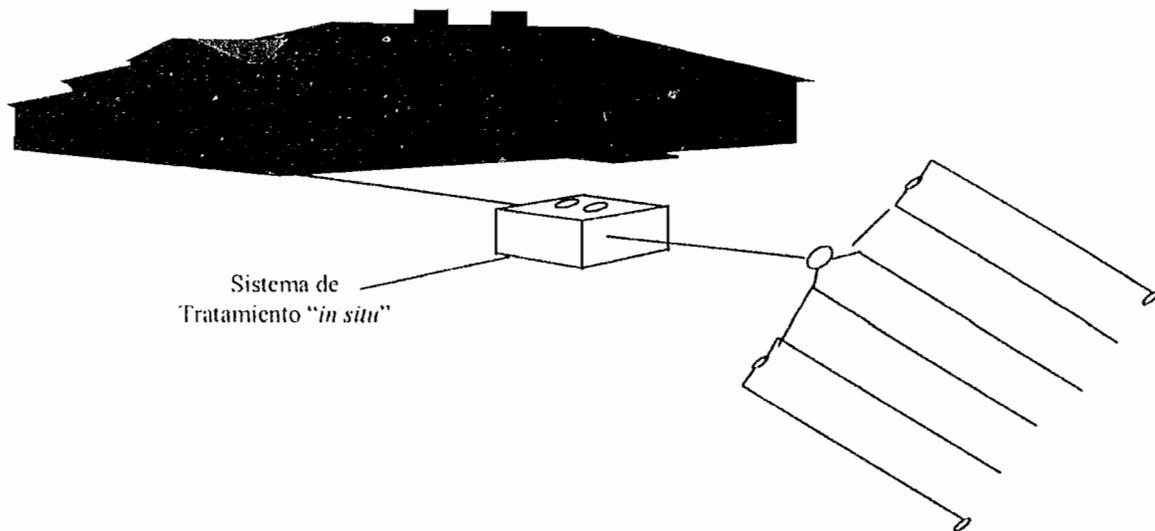
Las aguas residuales tratadas se pueden distribuir sobre el área por regar, por cualquiera de los siguientes métodos:

- **Inundación.** El agua se distribuye sobre una superficie nivelada rodeada de bordos bajos. La profundidad de la lámina de agua es de 30 a 60 cm.
- **Riego superficial.** Se extiende el agua sobre la superficie del terreno, para que se infiltre o escurra hasta un nivel más bajo, donde se recoge en un desagüe.
- **Riego por surcos.** Consiste en labrar el terreno formando surcos y camellones o lomos donde se distribuye el agua mientras las cosechas se desarrollan en los lomos o camellones o entre ellos.

En estos métodos, las aguas negras se distribuyen de un modo intermitente, con periodos relativamente largos entre cada dos aplicaciones sucesivas.

#### 4.1.1.2 Riego subterráneo

Es la aplicación subsuperficial del efluente procedente de sistemas de tratamiento "in situ" (FIGURA 4.1).



**FIGURA 4.1 DISPOSICIÓN SUBSUPERFICIAL DEL EFLUENTE EN TERRENO**

Entre los métodos de disposición subsuperficial se encuentran: campos de oxidación, en su modalidad de zanjas de infiltración, filtros subterráneo de arena; cámara de oxidación y pozos de absorción.

##### a) Campos de oxidación

El campo de oxidación recibe directamente el efluente de la unidad de tratamiento y esta conformado por una serie de tuberías. Su diseño depende de la forma del área disponible, de la capacidad requerida, de la topografía del terreno y de la tasa de infiltración del subsuelo.

Para su dimensionamiento, es recomendable realizar un análisis cualitativo de las principales propiedades indicativas de la capacidad absorbente del suelo, como lo son: textura, estructura, color y espesor de los estratos permeables; así como medir las características de permeabilidad del suelo a través de una prueba de infiltración, que permite obtener un valor estimativo de la capacidad de absorción de un determinado sitio.

El procedimiento recomendado para realizar la prueba de infiltración se presenta a continuación:

1. La prueba debe realizarse si es posible de noche (para evitar evaporaciones)
2. Excavar como mínimo seis pozos espaciados uniformemente dentro del área propuesta para el campo de oxidación
3. Los pozos deben tener lados o un diámetro de 0.30 m, excavados hasta la profundidad de la zanja de absorción propuesta
4. Raspar las paredes del pozo, con el propósito de lograr una interfase natural del suelo
5. Agregar una capa de arena o grava fina de 0.05 m de espesor para proteger el fondo
6. Inundar el pozo con un tirante de 0.30 m al menos 4 horas
7. A las 24 horas de haber llenado el pozo, determinar la tasa de infiltración de acuerdo a las siguientes consideraciones:
  - Si permanece agua en el pozo, ajustar el tirante de agua hasta aproximadamente 0.25 m sobre la grava. Medir el descenso de nivel durante un período de 30 minutos. Este descenso se utiliza para calcular la tasa de infiltración.
  - Si no permanece agua en el pozo, añadir agua hasta lograr una lámina de 0.15 m por encima de la capa de grava. Medir el descenso del nivel de agua a intervalos de 30 minutos aproximadamente, durante un periodo de 4 hrs. El descenso que ocurre durante el periodo final de 30 minutos se utiliza para calcular la tasa de infiltración.
  - En suelos arenosos el intervalo entre las mediciones debe ser de 10 minutos y la duración de la prueba una hora. El descenso que ocurra en los últimos 10 minutos se usa para calcular la tasa de infiltración.

Un valor aproximado de la tasa de infiltración se establece de acuerdo a los valores promedios presentados en la **TABLA 4.2**.

TABLA 4.2 TASA DE INFILTRACIÓN DEL EFLUENTE

TASA DE PERCOLACIÓN (min/cm)	
0.41	189
0.83	130
1.25	109
1.66	94
2.08	83
4.16	60
6.25	49
12.50	34
18.75	30
25.00	22

\*Tiempo en minutos que tarda el agua en bajar un centímetro, durante la prueba de infiltración

Finalmente, para obtener el área del campo de oxidación se utiliza la siguiente expresión:

$$A = (Q \times P) / R$$

donde:

A = Área de absorción en m<sup>2</sup>

Q = Aportación de aguas residuales en litros /hab/día

P = Número de habitantes

R = Tasa de infiltración en litros /m<sup>2</sup>/día

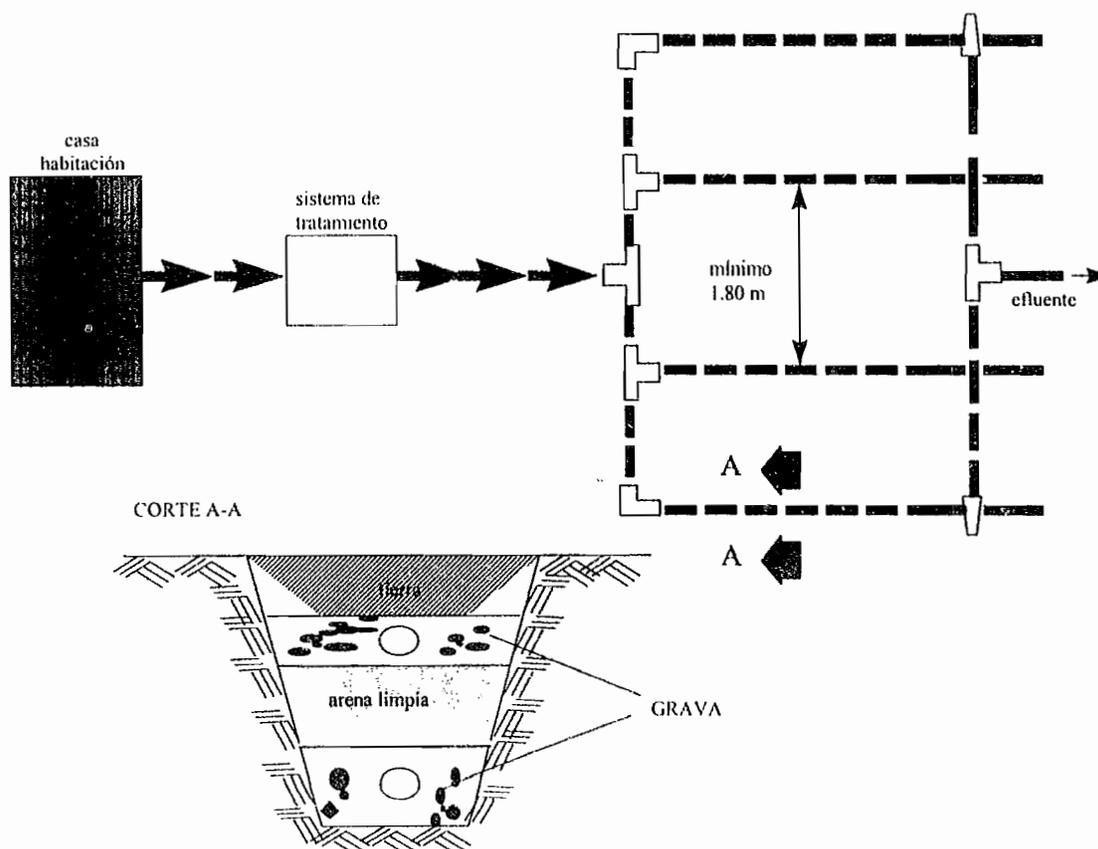
Para valores superiores a 25 min/cm en la tasa de percolación, se considera al terreno no apto para la construcción de campos de oxidación y por lo tanto debe adoptarse otra solución alternativa para el tratamiento y disposición del efluente de la unidad de tratamiento.

#### b) Zanjas de infiltración para campos de oxidación

El buen funcionamiento de una disposición del efluente en el suelo está condicionado por: la calidad del efluente, que no debe contener demasiada materia en suspensión y en particular, grasas.

Cuando se encuentren terrenos poco permeables (con un tiempo mayor de 30 minutos por cada 2.5 cm., en la prueba de infiltración), se debe combinar la instalación del campo de oxidación con una segunda tubería para drenar el exceso de líquidos y llevarlos a pozos de absorción.

Las zanjas son semejantes a las de los campos de oxidación, pero más profundas, para recibir el dren en la parte inferior. El material filtrante es arena fina a través de la cual los líquidos alcanzan un alto grado de depuración (**FIGURA 4.2**).



**FIGURA 4.2 ZANJAS DE INFILTRACIÓN PARA CAMPOS DE OXIDACIÓN**

Es posible calcular aproximadamente el tamaño del lecho filtrante en función de las características del suelo. Por ejemplo, para una casa habitación con una ocupación de 3 a 4 personas y con una aportación de aguas residuales de 500 l/d.

La profundidad óptima de las zanjas de infiltración es de 0.50 m del nivel del terreno. El ancho de las zanjas estará comprendida en general entre 0.60 y 0.90 m y su longitud depende de la superficie disponible. La longitud máxima de las zanjas es de 30 m y es

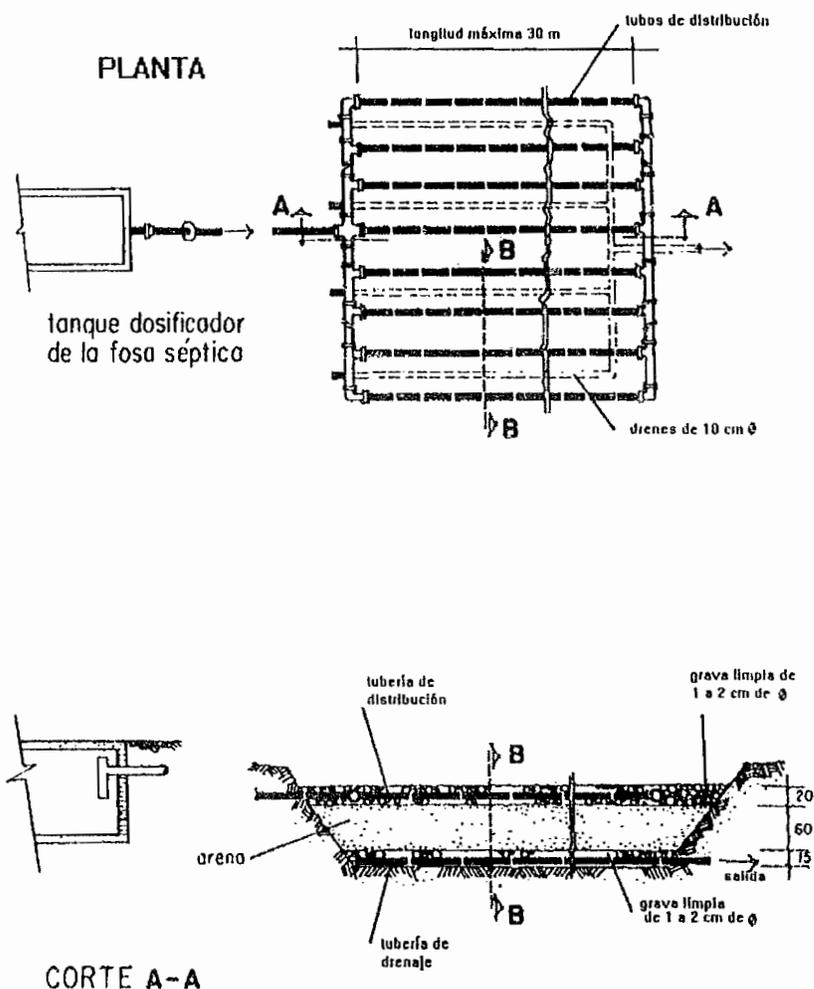
posible limitarla a 20 m. La superficie de infiltración debe ser estrictamente horizontal. La distancia entre las zanjas será superior a 1.5 m (de eje a eje).

Cuando no se cuenta con un terreno plano, se recomienda disponer las zanjas de infiltración perpendiculares a la pendiente.

*c) Filtro subterráneo de arena*

Una solución para instalaciones mayores, donde la utilización de zanjas de infiltración no es económico, se recomienda la utilización de filtros subterráneos de arena, que consiste en una excavación rellena con arena y grava, como se indica en la **FIGURA 4.3**.

La capacidad de filtración se considera a razón de 60 a 70 litros, por día, por m<sup>2</sup>, o sea de 2 a 2.5 m<sup>2</sup> por persona.



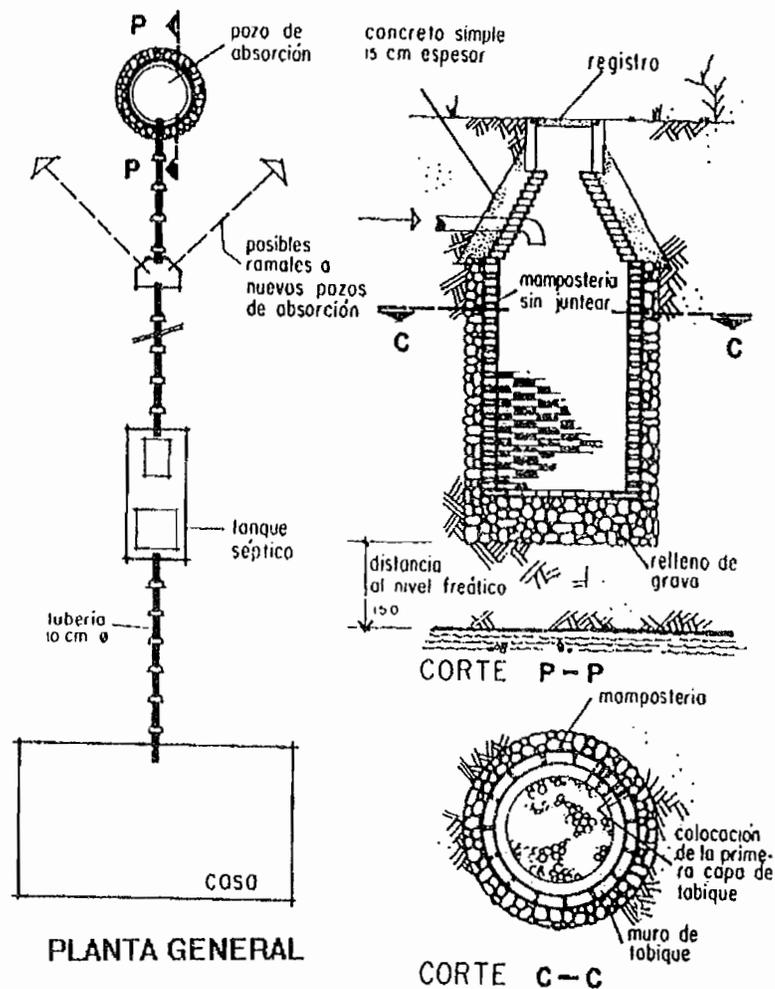
**FIGURA 4.3 FILTROS SUBTERRÁNEOS DE ARENA**

## d) Pozos de absorción

El pozo de absorción, es el medio más recomendable para la oxidación de los efluentes, en este sistema, las aguas se infiltran al subsuelo a través de las paredes y piso permeables, contruidos como se indica en la **FIGURA 4.4**.

Un aspecto a considerar, es que el fondo del pozo debe estar a una distancia vertical mínima de 1.50 m del manto freático.

Este sistema proporciona al agua un tratamiento físico y biológico a través de la infiltración en un medio poroso.



**FIGURA 4.4 POZO DE ABSORCIÓN**

#### 4.1.2 Disposición en un cuerpo de agua superficial

El efluente procedente de la unidad de tratamiento “*in situ*” también es posible realizar la disposición final en un cuerpo de agua, este efluente debió recibir tratamiento secundario, para evitar la contaminación del cuerpo de agua superficial. También es importante considerar que el cuerpo de agua al que se realice la descarga, no debe constituir una fuente de abastecimiento de agua potable para una comunidad ubicada aguas abajo, debido a que ocasiona enfermedades en dicha población.

Cuando el vertido del efluente se realiza a un cuerpo de agua, la eliminación se realiza por dilución. Entre las condiciones necesarias para una disposición satisfactoria por dilución, se encuentran: la existencia de corrientes adecuadas que conduzcan las aguas residuales tratadas lejos de las viviendas, o un volumen suficiente de agua de dilución rica en oxígeno disuelto.

La luz solar es eficaz para la autopurificación, por su efecto esterilizante sobre ciertas bacterias, por su capacidad de decoloración y por la fotosíntesis, mediante la cual los organismos que poseen clorofila toman energía del sol y la convierten en alimentos para otros seres vivos, absorbiendo anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) durante el proceso y desprendiendo oxígeno.

La dilución en cuerpos de agua se puede presentar en varios casos:

##### 4.1.2.1 Vertido a lagos

En muchas localidades interiores en que no se dispone de corrientes de aguas cercanas, puede ser necesario verter el agua residual tratada a lagos o embalses. Los lagos y embalses están sometidos con frecuencia a condiciones de mezclado importantes debido a las corrientes inducidas por el viento; por lo tanto, los lagos y embalses de pequeño tamaño están totalmente mezclados. Esta opción de vertido se considera no muy recomendable en el caso de vertir volúmenes grandes de agua residual, pero para el caso de tratamiento “*in situ*” los volúmenes que se manejan son aceptables para su vertido en lagos.

##### 4.1.2.2 Vertido en ríos

Los ríos o arroyos están sometidos a bastante contaminación natural, ya que actúan como canales de desagüe de grandes zonas del campo. Por otro lado, los ríos son capaces de absorber parte de la contaminación doméstica porque tienen la capacidad de autodepurarse por la acción de los organismos vivientes que consumen materia orgánica y por el proceso de sedimentación que facilita la formación del lecho del río. Para el tratamiento “*in situ*”,

es posible realizar el vertido a ríos después de que el efluente pasa por algún sistema de tratamiento.

#### 4.1.2.3 Vertido al mar

El contenido de oxígeno del agua de mar es aproximadamente un 20% menos que el del agua dulce a la misma temperatura. La mayor cantidad de sustancias disueltas en el agua de mar, reduce su capacidad para absorber muchos de los elementos contenidos en las aguas negras. Este hecho, en unión de las reacciones químicas que se producen cuando las aguas negras se mezclan con el agua del mar, hace que se precipiten algunos de los sólidos de las aguas apartadas dando al agua un aspecto lechoso y formando bancos de lodo. Estos bancos de lodo son especialmente perjudiciales, pues hay mayor tendencia a la formación de ácido sulfhídrico en el agua de mar que en el agua dulce. Cuando las aguas negras se mezclan con el agua del mar, el mayor peso específico y la menor temperatura del agua del mar, hace que las aguas negras, más ligeras y más calientes, suban a la superficie formando una delgada película sobre ella. En el caso del tratamiento "*in situ*" este fenómeno no se presenta, porque los volúmenes que se manejan en los sistemas "*in situ*" son bajos, lo cual facilita la dilución del agua residual tratada en los grandes volúmenes de agua de mar, sin existir problemas de contaminación considerables.

También es conveniente considerar, en el caso de que se manejen grandes volúmenes de agua residual tratada, que la reaeración del agua salada es menos rápida que la del agua dulce, en proporción a las relativas solubilidades del oxígeno en ambas aguas; y todavía menos, aunque en una proporción desconocida, a causa de la mayor viscosidad, y por tanto, el menor valor del coeficiente de difusión. Las pruebas relativas a la acción que tiene lugar en la absorción de oxígeno del aire por el agua del mar y su efecto sobre la disolución de los sólidos de las aguas negras, son contradictorias, pero, en general, el agua dulce es mejor diluyente que el agua salada.

La evacuación al mar se realiza a través de emisores submarinos consistentes en unas conducciones que transportan el agua a cierta distancia de la orilla (30-50 m) y, en el mejor de los casos, con una sección final dotada de difusores para diluir los residuos con el agua de mar. En general, la disposición del efluente en el mar es práctico emplearlo para caudales provenientes de comunidades o instituciones.

En la **TABLA 4.3** se muestran las alternativas para la disposición de aguas residuales tratadas de origen doméstico, comunal e institucional.

**TABLA 4.3 DISPOSICIÓN DEL EFLUENTE EN FUNCIÓN DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (Metcalf & Eddy, 1991)**

<i>Tratamiento de aguas residuales</i>	<i>Disposición del efluente</i>
<i>Unidades de tratamiento primario</i>	Campos de oxidación
Fosa séptica, Tanque Imhoff	Filtros Subterráneos de arena
	Pozos de absorción
<i>Unidades de tratamiento secundario</i>	
Unidad aerobia/anaerobia, Biodiscos	Descarga en agua
Sistemas de lodos activados	Irrigación
Aireación extendida	Reuso

#### 4.2 REÚSO

Las demandas crecientes de agua requerirán en el futuro nuevas fuentes de abastecimiento, algunas de las cuales serán de una calidad inferior a aquella que se juzgó aceptable en el pasado para ese propósito. En zonas densamente pobladas, gran parte de la demanda creciente tendrá que satisfacerse con extracciones de ríos de tierras bajas que probablemente contendrán proporciones importantes de agua proveniente de efluentes de aguas residuales y de procesos industriales.

Durante mucho tiempo el empleo del agua de mar se contempló como una fuente inagotable pero, actualmente se sabe que el agua residual doméstica contiene menos del 1% de impurezas y que estas pueden ser eficientemente removidas mediante procesos avanzados; mientras que, el agua de mar contiene 3.5% de sales disueltas además de contener materia orgánica lo que provoca que el costo de desalación rebase al de reacondicionamiento del agua residual doméstica.

La reutilización directa de un efluente de agua residual para cubrir algunos requerimientos de agua industrial es ya una práctica aceptada, con ahorros en el costo. El uso del agua residual como una fuente de agua potable es ya técnicamente factible, pero tal uso sería relativamente costoso y tendría objeciones de tipo social por parte de los consumidores. Para que el agua se volviera a utilizar directamente requeriría la adopción de procesos

adicionales, principalmente de naturaleza físico-química, que con seguridad serían muy costosos.

En el caso del tratamiento "*in situ*", los volúmenes que se tratan realmente son bajos, pero también el costo del agua potable va aumentando, además, en actividades domésticas en las que no se requiera el uso de agua con calidad potable, se puede usar agua tratada proveniente de la unidad de tratamiento, y así disminuir el consumo de agua potable y abatir los costos por su uso. Entre los reusos que se le pueden dar a esta agua tratada son:

1. Riego de áreas verdes
2. Lavado de automóviles
3. Lavado de pisos
4. Reutilización en retretes
5. Huertos familiares
6. Piscicultura

Para el reúso en el riego de áreas verdes, únicamente es necesario contar con un tanque de almacenamiento del agua tratada (e inclusive donde se pueden almacenar las aguas pluviales), de donde se puede extraer el agua necesaria para el riego con la colocación de las adaptaciones convenientes (tuberías, llaves). Técnicamente, el agua tratada puede emplearse para el lavado de automóviles, lo cual no es muy recomendable, a menos que se mezcle agua tratada con potable. Para el lavado de pisos también se podría realizar alguna adaptación similar a la de riego, aunque en todos los casos se puede presentar problemas de mal olor, debido al almacenamiento del agua tratada. Para la reutilización en retretes, es necesario adaptar una doble línea de conducción, ya que el volumen de agua tratada, no siempre va a ser suficiente para los servicios sanitarios, y cuando ésto suceda, se empleará agua proveniente de la red. En el caso de empleo del agua tratada en huertos familiares, es necesario llevar a cabo una adecuada desinfección de los productos que se obtengan. Para la piscicultura, es necesario conocer bien y utilizar las especies que soporten las condiciones de contaminación prevalecientes en un agua tratada.

En la **TABLA 4.4** se muestran los métodos de disposición recomendados para los sistemas de tratamiento "*in situ*" presentados en este trabajo, de estas unidades, la fosa séptica (común, doble cámara y tipo Imhoff), requiere de un sistema de disposición del efluente, para pulirlo, ya que sin él su calidad no sería aceptable. Por otro lado, los sistemas como el BRAIN, lodos activados, filtro biológico sumergido, R.B.C., Filtraclere-P, Planta de tratamiento EKKOFINN BIOCLERE y la planta paquete filtro sumergido de película fija, pueden disponerse en un cuerpo de agua, para irrigación (en el caso de que en la casa habitación se cuente con un pequeño huerto) o algún reúso de los mencionados anteriormente. El uso de esta tabla es sumamente importante para poder disponer el efluente proveniente de los sistemas sin riesgo a la salud de la comunidad donde se instale, así como al medio ambiente.

**TABLA 4.4 MÉTODOS DE DISPOSICIÓN DEL EFLUENTE RECOMENDADOS PARA LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU"**

UNIDAD DE TRATAMIENTO		Disposición del efluente
Anaerobio	Sistemas de Biomasa en Suspensión	Fosa Séptica Común Fosa Séptica Doble Cámara Fosa Tipo Imhoff Tanque Imhoff
	Sistemas de Biomasa fija	Bioreactor Anaerobio Integrado (BRAIN) Filtro Anaerobio de flujo ascendente
	Sistemas de Biomasa en Suspensión	Lodos activados (SBR) Aireación extendida
	Sistemas de Biomasa fija	Filtro Biológico Sumergido R..B.C. Filtaciere-P Planta de Tratamiento EKKOFIN BIOCLERE
Aerobio		Sistemas de absorción en el suelo: campos de oxidación, pozos de absorción, filtros subterráneos de arena
		Descarga a cuerpo de agua, irrigación, reuso, infiltración
		Descarga a cuerpo de agua, irrigación, reuso, infiltración
		Descarga a cuerpo de agua, irrigación, reuso, infiltración

## 5. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO “ IN SITU”

La elección del sistema de tratamiento “*in situ*”, está relacionado con el proceso que emplee la unidad, así como con el costo de la misma, en el presente capítulo se describirá lo relacionado con el proceso utilizado.

El propósito de evaluar técnicamente un tren de tratamiento es el de establecer si las operaciones unitarias o unidades de proceso y la disposición que guardan, pueden lograr un objeto específico de tratamiento, de manera que en conjunto, con el menor grado de complejidad y máxima economía, se obtengan las eficiencias requeridas.

### 5.1 Procesos de tratamiento

#### 5.1.1 Tratamiento primario

Las unidades de tratamiento “*in situ*” que proporcionan un tratamiento primario son:

##### 5.1.1.1 Fosas Sépticas

La operación de la fosa séptica consta esencialmente de conducir las aguas residuales de usuarios a la entrada de la cámara donde se desarrolla la sedimentación de la materia contaminante a la vez que se produce la descomposición de la misma desprendiendo gases y formándose una nata sobre el nivel de aguas; posteriormente se lleva el efluente a un método de pulimento.

##### 5.1.1.2 Fosa Séptica Doble Cámara

La operación del sistema consiste en que al llegar las aguas residuales al recipiente, permanecen un tiempo suficiente para que se lleve a cabo la sedimentación y digestión de la materia contaminante, teniéndose constantemente desprendimientos de gas y formación de natas. El tanque, a diferencia de la fosa séptica común, consta de dos compartimentos, con lo cual se permite mayor espaciamiento entre dos limpiezas consecutivas.

##### 5.1.1.3 Fosa tipo Imhoff

El proceso en la fosa tipo Imhoff inicia con la entrada de las aguas residuales por la parte superior, al centro éstas descargan al compartimiento de sedimentación, de aquí pasan al compartimiento de digestión donde se encuentra el fondo de lodos que contienen los microorganismos que descomponen la materia orgánica dando como resultado la

---

producción de gases y natas en tanto el agua clarificada pasa a la tubería de efluente para su disposición final.

#### **5.1.1.4 Tanque Imhoff**

El proceso en el tanque Imhoff, inicia con la entrada de las aguas residuales por la parte superior, al centro éstas descargan al compartimiento de sedimentación, de aquí los sedimentos pasan al compartimiento de digestión donde se encuentra el fondo de lodos que contiene los microorganismos que descomponen la materia orgánica dando como resultado la producción de gases y natas en tanto el agua clarificada pasa a la tubería de efluente para su disposición final.

#### **5.1.2 Tratamiento secundario y terciario**

En cuanto a las unidades de tratamiento “*in situ*” que proporcionan un tratamiento secundario y terciario son:

##### **5.1.2.1 Filtro Biológico**

###### **5.1.2.1.a AERO-PAQ C**

La unidad consiste de un recipiente vertical de material plástico. En este recipiente se lleva a cabo la oxidación de la materia orgánica mediante un proceso biológico. El sistema es un proceso biológico que se realiza en dos etapas, las primera Anaeróbica y la segunda aeróbica en un Filtro BIOLógico (ANFIBIO). Las bacterias se cultivan sobre un empaque contenido en el recipiente y el aire se suministra mediante un compresor de 1/8 HP. El sistema cuenta con un alimentador y filtro de gases para control de los olores que se pudieran desprender. El efluente del tanque se extrae por gravedad y se puede pasar a través de un tanque de cloración para desinfectar el agua residual.

En caso de que se desee reutilizar el agua en riego o en lavado se recomienda el uso de un filtro complementario.

El filtro se utiliza en combinación con una fosa séptica o un tanque primario de separación. El propósito de éste es eliminar las grasas y reducir los sólidos suspendidos en las aguas negras. La alimentación se hace normalmente mediante una bomba sumergida.

Normalmente la digestión anaeróbica se efectúa en una fosa séptica o algún tratamiento similar. El objetivo fundamental de este tratamiento es eliminar los sólidos, disminuir el contenido de grasas y aceites y reducir la demanda biológica de oxígeno.

El tratamiento aeróbico se proporciona en un filtro biológico en el que los microorganismos crecen en el empaque. Mediante una recirculación adecuada combinada con la aireación el equipo proporciona las condiciones necesarias para que se efectúe la bioxidación de la materia orgánica.

Por la naturaleza misma del proceso el efluente del filtro biológico tiene un alto contenido de bacterias por lo que es recomendable un post-tratamiento. Para esto se requiere un clorador y un filtro de gravedad para eliminar el cloro residual.

#### **5.1.2.1.b Proceso FILTACLERE-P**

El proceso para el tratamiento de las aguas residuales propuesto es:

Las aguas residuales decantan (por gravedad) en un depósito primario, que puede ser una fosa ya existente.

- a) Las aguas residuales decantadas pasan del depósito primario al equipo *Filtaclere* para su tratamiento biológico.
- b) El efluente que entra en la cámara de bombeo es elevado por medio de una bomba de riego y se descarga con un pulverizador en la superficie del filtro.
- c) Después de pasar a través del relleno, el líquido fluye a una zona deflectora para su recirculación.
- d) El efluente tratado pasa a la zona de decantación para su clarificación total antes del vertido.
- e) Una parte del líquido tratado que cae del filtro se retorna a la cámara de bombeo y se recircula. El resto se desplaza a la zona de decantación de lodos donde los sólidos que caen del filtro decantan por gravedad y el efluente clarificado se desaloja en el cuerpo receptor.

#### **5.1.2.1.c Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE**

El proceso de tratamiento a seguir es: el agua residual que sale de la fosa séptica fluye por gravedad hasta el filtro biológico. En esta etapa la materia degradable será oxidada biológicamente. Este filtro biológico cuenta con una campana deflectora en la parte inferior, la cual mediante una bomba sumergible impulsará el agua a la parte superior del biofiltro donde se localiza el distribuidor, rociándola uniformemente a través del medio filtrante, el aire requerido para este fin será suministrado por un ventilador situado en la parte superior de la unidad biofiltro. Esta unidad cuenta con un centro de control con temporizadores para la bomba y ventilador, fusibles de protección, interruptor principal y contactos de alarma libres de potencia. La operación de este sistema es completamente automática.

El agua ya tratada caerá a un depósito inferior (tanque bajo) en el cual se sedimentarán los lodos en suspensión. En este tanque se colocará una tubería de sondeo por la cual se podrá introducir una manguera para extraer los lodos cuando se requiera, almacenándose en la fosa séptica. El agua fluirá por gravedad saliendo del tanque bajo al registro de descarga

final o a la desinfección según sea el caso. Este equipo solo cuenta con una bomba sumergible y un ventilador.

Cuando se requiera la desinfección, se realizará con hipoclorito preparado en un depósito de plástico. La dosificación será por goteo.

#### **5.1.2.1.d Filtro Sumergido de Película Fija**

La descripción del proceso de tratamiento es como sigue:

El agua residual es conducida a un registro con malla de cribado para retener sólidos de gran tamaño como pedazos de plástico, madera, hojas, y demás objetos que puedan estar presentes en el agua residual. En las instalaciones donde se requiera de la separación de grasas, el registro contendrá una mampara que funcionará como trampa.

El efluente de este registro, se conduce por gravedad a un tanque de igualación/clarificación primaria en donde se logra una igualación tanto hidráulica como química, así como la sedimentación de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual. El agua ya clarificada fluye por gravedad al sistema secundario de tratamiento biológico. En esta etapa se remueve la materia orgánica soluble o coloidal (es equivalente a la función de una fosa séptica).

El sistema que se propone es un proceso biológico que utiliza biorres Aerobias o como se conoce en la literatura Filtro Sumergido de Película Fija. Estos sistemas consisten en dos tanques verticales, totalmente inundados, llenos con empaque de polipropileno. Este empaque es específico para el tratamiento de aguas residuales ya que provee una alta área superficial comparada con el volumen de la torre (95% de espacios vacíos) y se utiliza como medio sobre el cual crezcan los microorganismos y sean retenidos sin la necesidad de reciclar lodos del efluente. El agua acondicionada se dirige a la primera biorres donde se inyecta continuamente aire por la parte inferior de la biorres. Esta biorres removerá la mayor parte de la carga orgánica del agua residual, la cual fluirá por gravedad a la segunda biorres que actúa como pulimento del efluente para alcanzar el porcentaje de remoción deseado para cumplir con las normas de descarga (para plantas con flujo de 5 m<sup>3</sup>/día sólo se requiere una biorres).

El agua residual proveniente de las biorres conteniendo biomasa acarreada de éstas fluirá por gravedad al separador de sólidos el cual utiliza módulos inclinados de placas corrugadas para una máxima eficiencia. Dentro del separador, los sólidos sedimentables provenientes del tratamiento biológico se remueven y se sedimentan al fondo de éste.

El agua clarificada pasa al módulo de desinfección consiste en un tanque de contacto con un tiempo de retención de 30 min, el cual contiene un flotador con pastillas de hipoclorito de sodio concentrado.

Los lodos que se sedimentan se recomienda sean retirados aproximadamente 2 veces por año máximo; la frecuencia de la disposición depende de la temperatura ambiente, ya que en climas cálidos su disposición es mucho menor.

#### 5.1.2.1.e Bioreactor Anaerobio Integrado

La función de cada una de las etapas de tratamiento es:

- a) *Rejillas*. Su función principal es atrapar el contenido de sólidos y basuras flotantes, que pueden interferir el funcionamiento del sistema de tratamiento; la reja es metálica. Los desechos capturados se incorporan a la basura doméstica.
- b) *Desarenador*. Su finalidad es separar del agua residual la gravilla, arena y partículas finas de origen mineral, con el fin de evitar la producción de asentamientos indeseables en las interconexiones, conductos interiores y dentro del reactor. La unidad se genera deprimiendo el fondo del registro que se adecúa para implementar el pretratamiento.
- c) *Separador de grasas*. Se basa en la diferencia de densidades que hay entre la grasa, el aceite y el agua, en su funcionamiento también se aprovecha el hecho de que el caudal que ingresa, es más caliente que el que contiene el recipiente y se enfría al llegar a este, ocasionando solidificación de las grasas suspendidas, las cuales se extraen periódicamente para secarlas y manejarlas como un desecho sólido; la remoción de grasas es del orden de 90% y del 5% para la carga orgánica. Esta operación se efectúa mediante una mampara que propicia un sello hidráulico, el cual posibilita la remoción de la materia suspendida.

Estos procesos se localizarán en el último registro del alcantarillado sanitario, antes de ingresar al reactor.

- d) *Reactor anaerobio de flujo ascendente*. Esta unidad de tratamiento biológico, consta de dos cámaras superpuestas, de digestión anaerobia la inferior y de sedimentación la superior, la alimentación se realiza por el centro del recipiente, específicamente en la zona de reacción biológica y la descarga del efluente se hace a través de las placas paralelas de la segunda.

Dentro de la cámara de digestión, se forma un manto de lodos que se mantiene parcialmente mezclado por la acción combinada de la evacuación de gases y flujo ascendente del agua, en contracorriente con los sólidos separados por el sedimentador; de esta manera la tracción de lodos es gravitacional y el reactor anaerobio no requiere de agitación mecánica adicional.

El sedimentador se incluye con el fin de remover los sólidos sedimentables que trae consigo el agua y retener los lodos biológicos que se encuentran en fase de digestión; este compartimiento se implementa con placas paralelas de polietileno, para acelerar y eficientar la decantación.

Las eficiencias que se alcanzan en la unidad son del 40% en términos de  $\text{DBO}_5$ .

- e) *Filtro Anaerobio*. La finalidad de esta unidad es retener hasta un 75% del sustrato remanente y dar pulimento en los sólidos suspendidos y al residual de los sedimentables. El medio de empaque escogido para este filtro es ducto de PVC con alta superficie de contacto, el filtro es de operación continua y se instala directamente sobre las placas paralelas del sedimentador de alta tasa.

El recipiente que contiene los elementos del reactor y del filtro, es de forma cilíndrica con el tramo intermedio y posee atolvamientos en los extremos inferior y superior, este último concluye en un cuello recolector del agua tratada y de los gases que se producen en la digestión. El tanque es de una sola pieza y esta fabricado en polietileno.

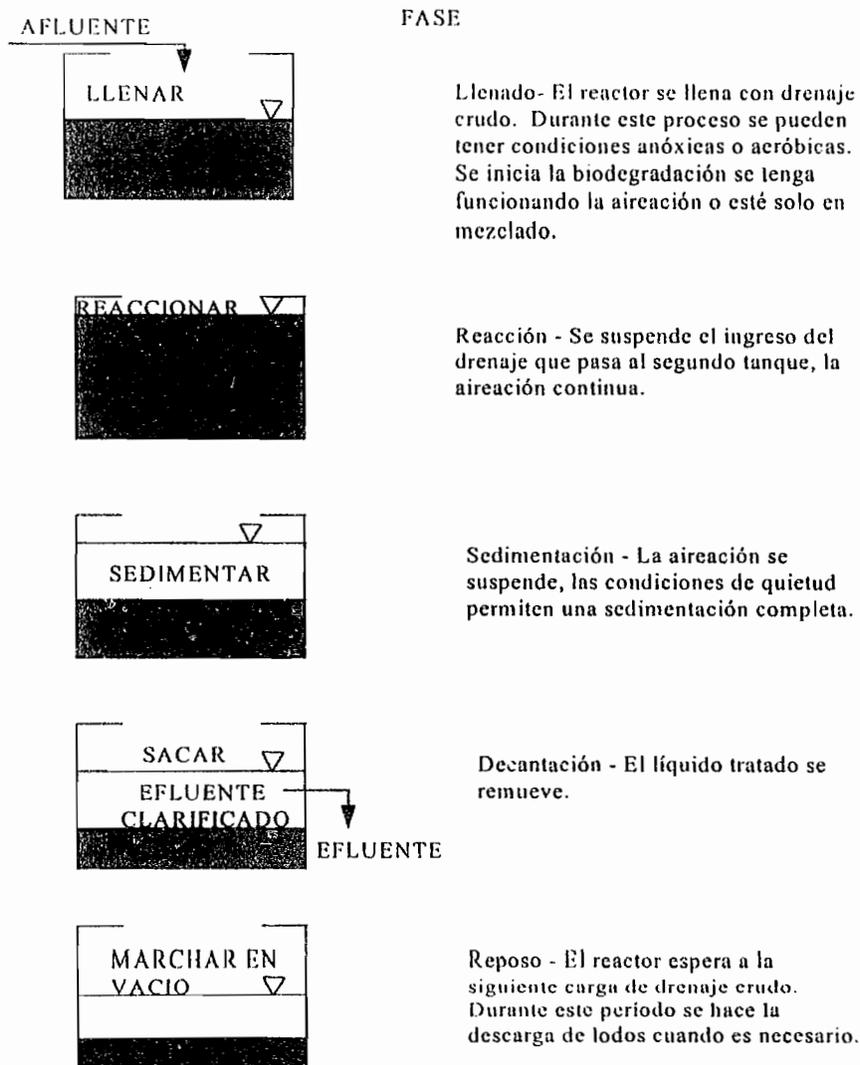
- f) *Cámara de cloración*. En este recipiente se adiciona el cloro para oxidar la materia orgánica en particular los patógenos, el tiempo de retención es de 30 minutos.
- g) *Dosificador de Cloro*. Suministra el cloro para eliminar las bacterias remanentes en el efluente y dejar una concentración de cloro residual aceptable en la descarga final.

### 5.1.2.2 Lodos activados tipo SBR. Cromoglass

Los pasos básicos de operación del proceso del Reactor de Cargas Secuenciales se muestran en la **FIGURA 5.1**. Como se observa del dibujo, todos los pasos del proceso (de llenar, de reaccionar, de sedimentarse y de decantar) se realizan en sólo un tanque. Los desperdicios en el reactor de cargas se tratan de los mismo pasos del proceso utilizado en una planta convencional. En una planta convencional, el efluente alimenta continuamente, procede a través de una serie de tanques dedicados separados y se expulsa continuamente. En el proceso de carga, el efluente alimenta continuamente (pero en cada tanque del proceso), procede a través de una serie semejante de períodos dedicados del proceso en vez de tanques y se expulsa periódicamente.

El proceso funciona como sigue (**FIGURA 5.1**): A principio del ciclo de proceso (del llenar) el reactor tiene un nivel mínimo de líquido y el flujo de efluente llena el reactor (No. 1, **FIG.28**). Dependiendo del modo seleccionado de operación, los aereadores de chorros empiezan la operación según los perfiles, uno es el período de “relleno anóxico”. Durante el período de “relleno anóxico” los chorros operan inicialmente en el modo de “mezcla sin aireación”. Ningún oxígeno (aire) se introduce en el líquido, sin embargo, la mezcla del afluente y la suspensión de los sólidos mezclados del líquido se logran. Al punto apropiado, la aireación se empieza y la oxidación del sustrato se inicia (No. 2). Después de un nivel de parada automática del líquido, o tiempo del ciclo se logra, los aereadores se desconectan y el período de sedimentación empieza (No. 3). Durante la sedimentación el reactor funciona como un clarificador inactivo con ningún movimiento interior o flujo de fluido. Después de que termina el período de sedimentación, el período de decantar

empieza. La válvula de descarga se abre y el mecanismo de expulsión colecciona el efluente clarificado sobrenadante (No. 4 y No. 5). Así es que el nivel mínimo de agua se alcanza, la válvula de descarga se cierra. El reactor ahora marcha en vacío hasta que el afluente otra vez se alimenta al tanque y el proceso se repite.



**FIGURA 5.1 OPERACIÓN DEL REACTOR DE CARGA SECUENCIAL**

### 5.1.2.3 Tratamiento de aguas residuales por aireación extendida

Las plantas de tratamiento de aguas residuales por aireación extendida, utilizan un proceso biológico conocido como digestión aerobia, mezclando extensivamente volúmenes de aire con las aguas residuales que entran a la planta. En este proceso, las aguas residuales entran a un tanque de aireación cuyo contenido se mezcla extensivamente con aire hacia la superficie, efectúandose una transferencia de oxígeno a los líquidos del tanque. Las

bacterias aerobias que se encuentran presentes en los lodos activados del tanque utilizan este oxígeno para convertir las aguas residuales en líquidos claros e inodoros.

Una vez que el líquido abandona el tanque de aireación, es retenido en un tanque de asentamiento clarificador, el cual se encuentra en estado de reposo. Aquí se asientan, en el fondo del tanque, todas las partículas parcialmente tratadas y de ahí regresan al tanque de aireación para tratamiento adicional. En esta etapa se produce un líquido claro, ampliamente tratado, que está listo para la descarga final.

Básicamente, las plantas de aireación extendida pueden dividirse en cuatro elementos principales.

1. *Pretratamiento.* En esta primera etapa, se utiliza un mecanismo de pretratamiento para desintegrar físicamente las aguas residuales y para atrapar materiales, tales como plásticos y metales, antes de que se introduzcan a la planta. Los tres tipos básicos de mecanismos de pretratamiento son: rejillas, desmenuzadores y trampas de basura.

2. *Aireación.* En el tanque de aireación se lleva a cabo la digestión aerobia. Es aquí donde las aguas residuales pretratadas se mezclan, recibiendo aire por medio de difusores localizados al fondo del tanque. Estos difusores inyectan cantidades suficientes de aire para satisfacer la demanda de oxígeno necesaria para que se efectúe el proceso de digestión aerobia al mismo tiempo que se mezclan íntegramente los contenidos del tanque.

3. *Sedimentación.* El siguiente paso en el proceso se lleva a cabo la sedimentación. Aquí no existe ningún tipo de turbulencia, provocando con esto, que los sólidos remanentes se asienten en el fondo del tanque, de donde son revertidos a la cámara de aireación por medio de un mecanismo de retorno de lodos, que es básicamente, un elevador neumático que bombea de regreso los lodos a tratamiento.

4. *Equipos complementarios.* cloradores de tabletas, hipocloración líquida, sistema de control de espuma, desnatador de superficie, programadores.

#### 5.1.2.3.a PERMEX Deptumaster

El proceso de tratamiento es como sigue: las aguas residuales, fluyen o se bombean a la caja de afluentes de la planta, pasando a través de una rejilla de gruesas barras, que impiden el paso de basuras. Dichas aguas pasan a la zona de aireación, donde se mezclan y airean continuamente por unos aparatos de aireación sumergidos, alimentados por compresores. Después de 24 horas de retención en la zona de aireación exterior, el líquido aireado pasa al depósito de decantación, desde el que se decanta el agua clara.

El lodo decantado, que se activa por cultivo orgánico, se transfiere de nuevo a la zona de aireación, empleando una bomba elevadora de aire. El lodo activado se mezcla con las aguas residuales a tratar, lo que proporciona alimento para los organismos en cultivo, y de esa forma absorben las materias orgánicas solubles de las aguas residuales brutas entrantes. Después de una aireación suficiente, que depende de la carga biológica, se pasa otra vez el líquido aireado al compartimento de decantación, para completar el proceso.

### 5.1.2.3.b Aireación Extendida

El proceso propuesto es una depuración biológica a base de lodos activados a baja carga (aireación prolongada).

El sistema esta compuesto por las siguientes unidades:

#### a) Cárcamo de bombeo

En función de las características del terreno, se pueden tener dos opciones:

- \* Bombear el efluente a tratar a la planta de tratamiento
- \* No bombear el efluente a tratar

La planta de tratamiento en caso de bombeo, se ubicará en su parte mas alta, a 40 cm sobre el terreno.

En caso de bombeo, se incluye una bomba sumergible controlada mediante electroniveles. Se incluye el equipo de rejilla y trampa de grasas.

### 5.1.2.4 Proceso R.B.C.

La planta paquete consiste en una unidad de plancha de acero, dividida en tres compartimentos principales:

#### a) Tanque de presedimentación

La unidad de presedimentación y disolución se subdivide en tres compartimentos más pequeños. En el primer compartimento, se depositan los materiales más pesados, como la arena, mientras que en el segundo, con una estructura laminar separa aceites y grasas del fluido del líquido. Los aceites separados pasan por un canal regulable y son dirigidos por la fuerza de gravedad, hacia un depósito en donde son colectados. La limpieza de los compartimentos se realiza con facilidad, mediante una serie de válvulas para llevar a cabo la expulsión o con un temporizador (opcional). El líquido disuelto entra a través de un sifón a la propia unidad de oxidación donde, en el filtro turbo-disco se producen las reacciones biológicas de oxidación del material orgánico. La presencia de las dos etapas permite llevar a cabo una buen tratamiento de sedimentos, incluso con los fluidos más difíciles, como algunos residuos industriales.

#### b) Tanque de oxidación biológica

Los lodos producidos en la zona de oxidación, son arrastrados externamente del fluido de salida y separados en la unidad de sedimentación con estructura laminar. La eliminación del agua depurada, se efectúa a través de un tubo de acero inoxidable; regulable según las necesidades, para permitir la descomposición.

c) Zona de sedimentación final, obtenida con construcciones laminares o con un filtro mecánico

En sustitución a la unidad de sedimentación con estructura laminar es posible utilizar un filtro mecánico dotado de una red filtrante y de una eliminación automática del fango sedimentado.

#### **5.1.2.5 Planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland)**

La unidad consta de un reactor UASB, y una unidad de pulimento basado en lecho de raíces de flujo subterráneo, que tiene como objetivo disminuir el contenido de sólidos y complementar la remoción anaerobia.

Una de las funciones del reactor UASB es remover lo más posible la presencia de sustancias lentamente biodegradables y así obtener un efluente libre de detritus fecales en estado sólido o algún otro detrito que sea capaz de acolmar el humedal.

Para estabilizar el lecho de raíces, deberá constar de un sistema de inyección de auxinas naturales, que permitan una rápida maduración del humedal y evite tardar más de 1 año para promover la creación de rizomas, las auxinas agregadas al humedal deberán ser aquéllas que no causen daño al medio ambiente y eviten la salida de ellas en el efluente.

Los géneros a usar en el humedal serán macrofitas emergentes del tipo *Typha sp* o en su defecto plantas del *Scirpus up* las cuales deberán ser seleccionadas para soportar las aguas residuales y con la capacidad de translocar suficiente oxígeno al terreno subterráneo del humedal con el objetivo de disminuir en lo más posible la DBO y DQO.

El contenido de coliformes se verá disminuido por la presencia de protozoarios, que son capaces de consumir grandes cantidades de bacterias principalmente del género coliforme, razón por la cual en este efluente no se requiere el uso de desinfectantes.

Como no se cuenta con lámina de agua, este tipo de sistema no será reservorio de mosquitos, ya que éstos requieren de grandes cantidades de agua, o por lo menos una lámina de arriba de 5 cm, la cual no existiría en el humedal, en el momento del arranque del humedal será provisto de *Bacillus thuringensis var israelensis*, con la idea de dañar irremesiblemente las pupas de los mosquitos y evitar su proliferación.

Las unidades que consistuyen el sistema de tratamiento son:

1. *Registro con rejilla*

La limpieza de la rejilla es en forma manual par recoger sólidos.

2. *Reactor anaerobio de flujo ascendente*

El proceso anaerobio de flujo ascendente consiste básicamente de un tanque Imhoff de flujo invertido presentando las cámaras de decantación y digestión anaeróbica superpuestas. El reactor de lecho de lodo es un digestor tubular, de flujo ascendente, con separación física y recirculación de lodo dentro de la propia unidad. Existe un perfil de sólidos, con gran concentración en la parte inferior (lecho de lodo), y mezcla completa entre lodo, líquido y gas en las cámaras arriba del lecho. En la parte superior del digestor existe un separador de fases (sedimentador), en que el lodo retorna a la cámara de digestión provocando en contracorriente con el flujo ascendente una mezcla uniforme.

Las principales condiciones que se deben encontrar en estos reactores son:

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

Para la evaluación técnica se eligieron algunas unidades de tratamiento que ilustran los procesos más comunes en el mercado. En cuanto a la unidad de tratamiento primario que se evalúa, se eligió la de uso más generalizado en la actualidad, en las zonas donde no se cuenta con alcantarillado, la cual es la Fosa Séptica; en cuanto a tratamiento secundario, se eligieron las plantas paquete que integren los procesos más comunes, como son aireación extendida, filtros biológicos, UASB. Los sistemas que se evaluarán son los siguientes:

- a) Fosa Séptica
- b) Planta paquete de lodos activados a baja carga (aireación extendida)
- c) Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE. Filtros biológicos
- d) Filtro sumergido de película fija
- e) Planta de tratamiento anaerobio con lecho de raíces biológico
- f) Bioreactor anaerobio integrado

## 5.2 Resultados de la factibilidad técnica

A continuación se comparan elementos relacionados con cada proceso, como son eficiencias de remoción de DBO<sub>5</sub> (*TABLA 5.1*); áreas requeridas, materiales de construcción, número de usuarios que admite la unidad (*TABLA 5.2*); la unidad que emplea cada sistema de tratamiento y los procesos que permiten la degradación de los contaminantes (*TABLA 5.3*); así como los requerimientos de mantenimiento, energía eléctrica para el funcionamiento de del sistema de tratamiento (*TABLA 5.4*).

**TABLA 5.1 COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS DE REMOCIÓN OBTENIDAS AL TÉRMINO DE CADA PROCESO**

Sistema de Tratamiento	Eficiencia de Remoción de DBO <sub>5</sub> (%)
Fosa Séptica	40-60
Aireación extendida	90
Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE	90
Filtro Sumergido de película fija. Bio-Aire	90
Planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces	85
Bioreactor Anaerobio Integrado	46

**TABLA 5.2 ÁREAS MÍNIMA Y MÁXIMAS REQUERIDAS POR LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE CADA PROCESO, ASÍ COMO LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN REQUERIDOS Y NÚMERO DE USUARIOS QUE ADMITE LA UNIDAD**

Sistema de Tratamiento	Nº de usuarios	Área mínima requerida (m <sup>2</sup> )	Área máxima requerida (m <sup>2</sup> )	Materiales
Fosa Séptica	5-100	2.14	12	Muros de tabique y losa tapa de concreto armado, prefabricada (fibra de vidrio, concreto, acero, A-C*, PVC)
Aireación extendida	5-600	4.06	10	Placa AC (A-36)
Planta de tratamiento <i>EKOFINN BIOCLERE</i>	5-600	2.1	2.4	Prefabricada en fibra de vidrio
Filtro Sumergido de Película Fija	5-600	2.16	6	Poliéster reforzado con fibra de vidrio
Planta de tratamiento con filtro de lecho de raíces	5-600	47	133	Concreto armado
Bioreactor Anaerobio Integrado	Máximo 100	8	24	Poliétileno, concreto en sitio

\* A-C, Asbesto-Cemento

**TABLA 5.3 UNIDADES QUE EMPLEA CADA SISTEMA DE TRATAMIENTO, ASÍ COMO LOS PROCESOS QUE PERMITEN LA DEGRADACIÓN DE LOS ELEMENTOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMICILIARIO**

Sistema de Tratamiento	Unidad de Tratamiento	Elemento de Tratamiento
Fosa Séptica	Tanque de Sedimentación primaria	Transformación biológica natural en la que intervienen bacterias anaerobias
Aireación extendida	Sistema compacto en un sólo bloque a base de la técnica de aireación prolongada	Depuración biológica a base de lodos activados a baja carga (aireación prolongada)
Planta de tratamiento <i>EKOFINN BIOCLERE</i>	Filtro biológico	Material degradable se oxida biológicamente
Filtro Sumergido de Película Fija	Bio-Torres Aerobias (Filtro sumergido de película fija)	Material degradable se oxida biológicamente
Planta de tratamiento con filtro de lecho de raíces	Planta de Tratamiento Anaerobio con entramado biológico	La planta de tratamiento consta de un reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos en la cual todos los sólidos y material de lenta degradación es digerido
Bioreactor Anaerobio Integrado	Bioreactor Anaerobio Integrado	Planta paquete con procesos físicos y biológicos de tipo anaerobio

**TABLA 5.4 REQUERIMIENTOS DE MANTENIMIENTO, ALTURA DEL NAF Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

Sistema de Tratamiento	REQUERIMIENTOS			Energía eléctrica
	Mantenimiento	Nivel de Aguas Freaticas	1.5 m abajo del fondo del tanque	
Fosa Séptica	1 año			-----
Aireación extendida	3 semanas			✓
Planta de tratamiento <i>EKOFINN BIOCLERE</i>	semestralmente			✓
Filtro Sumergido de Película Fija	semestralmente			✓
Planta de tratamiento con filtro de lecho de raíces	3 a 5 años			-----
Bioreactor Anaerobio Integrado	anual			-----

En cuanto a requerimientos de energía eléctrica, los sistemas que resultaron más económicos son la fosa séptica, la planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces biológico y el bioreactor anaerobio integrado. En el caso de la fosa séptica, el requerimiento de energía eléctrica es nulo, ya que una vez que el influente está en el sistema, el proceso de oxidación de la materia orgánica se realiza sin la necesidad de ningún dispositivo electromecánico. En los casos de la planta de tratamiento anaerobio con lecho de raíces biológico y del BRAIN, tampoco se requiere suministrar energía eléctrica. En estos tres sistemas, un factor común es que el agua residual pasa por cada una de las unidades del sistema por gravedad, por lo cual no se necesita la energía de una bomba, por ejemplo, para que el agua fluya a través del sistema; por otro lado, estas unidades son anaerobias, por lo cual, la oxidación de la materia orgánica se lleva a cabo sin la necesidad de inyectar aire al sistema, por lo cual no es necesaria la instalación de un aireador o sistema complementario, que sí son necesarios en el caso de los sistemas aerobios, en donde sí existe consumo de energía eléctrica para alimentar al aireador (principalmente).

En cuanto a los sistemas de tratamiento primario (fosa séptica), se considera que no es una alternativa de tratamiento recomendable, ya que, por requerir un método de pulimento del efluente, es necesario contar con área suficiente para su construcción. Además, como ya se explicó anteriormente, puede existir presencia de malos olores y otras condiciones desagradables. En comparación con los otros sistemas, la fosa séptica es la que tiene mayores deficiencias de tratamiento.

Entre los sistemas de tratamiento secundario (aireación extendida, filtros biológicos, planta de tratamiento con filtro de lecho de raíces) no se aprecia en la calidad del efluente diferencias significativas, además cabe señalar que cualquiera de los sistemas anteriores pueden producir efluentes con características aceptables para descarga a cuerpos de agua, siempre y cuando cuenten con su unidad de desinfección, a excepción de la planta de tratamiento con entramado biológico, la cual no requiere de sistema de desinfección.

Las unidades de tratamiento secundario (aerobio) que presentan mayores ventajas para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias "in situ" son la planta de tratamiento *EKOFINN BIOCLERE* y el filtro sumergido de película fija, ya que el espacio que requieren para su instalación es reducido, lo cual facilita su adaptación a cualquier zona, además las características del efluente de estos sistemas permiten disponerlo en descarga de agua, irrigación, infiltración y hasta la posibilidad de un reuso; aunque estos sistemas sí requieren ser alimentados con energía eléctrica. En cuanto a los sistemas de tratamiento anaerobios, el Bioreactor Anaerobio Integrado resultó ser que presenta mayores ventajas, ya que, además de que su requerimiento de área es reducido, la calidad del efluente permite su disposición hasta el reuso, contando con la ventaja sobre los aerobios, de que su consumo de energía es nulo. Todos estos sistemas cumplen satisfactoriamente las necesidades de tratamiento de un efluente doméstico.

## 5.2.1 Diagramas de bloques de proceso

Con base en los contaminantes a ser eliminados, el número de procesos que pueden combinarse es ilimitado. El diagrama de bloques de proceso describe una combinación particular de procesos o sistemas empleados para alcanzar un objetivo específico de tratamiento.

Independientemente del análisis de factibilidad técnica de cada tratamiento, la configuración exacta del diagrama depende de: (1) las necesidades del cliente, (2) la experiencia del diseñador, (3) regulaciones dadas por los organismos responsables, (4) disponibilidad del equipo, (5) facilidad en su operación, (6) disponibilidad de personal calificado, (7) costos iniciales de construcción, y (8) costos de operación y mantenimiento.

### 5.2.1.1 Trenes de tratamiento de los procesos seleccionados

El propósito de evaluar técnicamente un tren de tratamiento es el de establecer si las operaciones unitarias o unidades de proceso y la disposición que guardan, pueden lograr un objeto específico de tratamiento, de manera que en conjunto, con el menor grado de complejidad y máxima economía, se obtengan las eficiencias requeridas.

Con objeto de comparar las eficiencias que se obtienen con cada uno de los trenes de tratamiento, requerimientos energéticos, así como la determinación del mejor método de disposición del efluente de cada tratamiento, todos los trenes de tratamiento se consideran para caudales de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/día.

Para establecer los trenes de tratamiento se consideran elementos comunes como:

- a) Rejillas, separan de las aguas residuales aquellos constituyentes que pueden obstruir o dañar las bombas, o interferir con los procesos subsecuentes de tratamiento.
- b) Desarenador, tiene como objeto el evitar el paso de arenas. Además, reduce la cantidad de sólidos sedimentables.  
En el caso del presente trabajo, como los caudales a tratar son pequeños, entonces es posible colocar las dos unidades anteriores en un registro.
- c) Planta de tratamiento, en esta unidad se realizan los procesos de oxidación de la materia orgánica y contaminantes contenidos en el agua residual, así como la disminución de la DBO<sub>5</sub>, en general, es la unidad donde se mejora la calidad del influente.
- d) Unidad de desinfección, tiene por objeto, reducir el número de microorganismos a fin de satisfacer los parámetros microbiológicos de calidad del efluente.

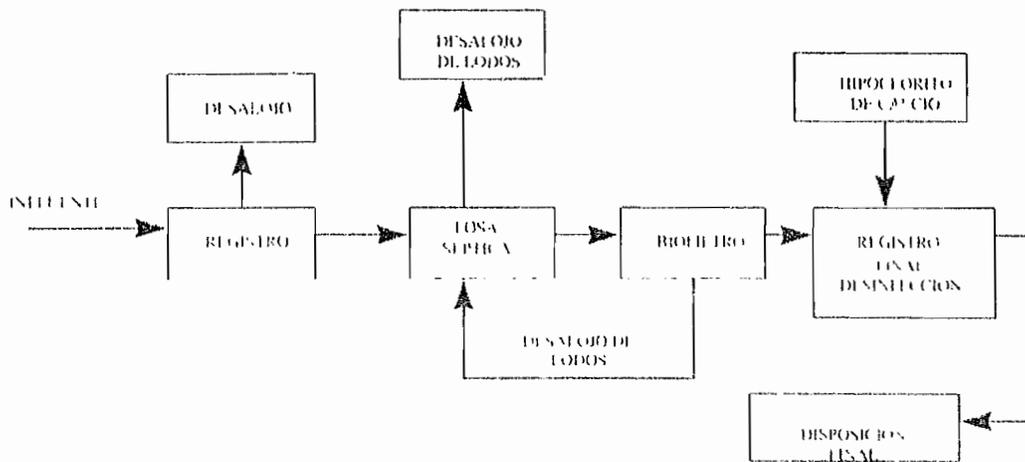
En la **FIGURA 5.2** se muestran los diagramas de bloques de proceso de los sistemas de tratamiento que incluyen en su configuración a la fosa séptica, aireación extendida y a la planta de tratamiento *EKOFINN BIOCLERE*.



**DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO  
FOSA SÉPTICA.**



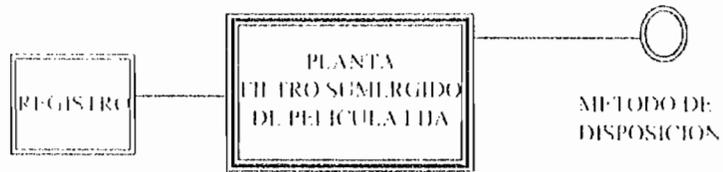
**DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO  
SISTEMA DE AIREACIÓN PROLONGADA**



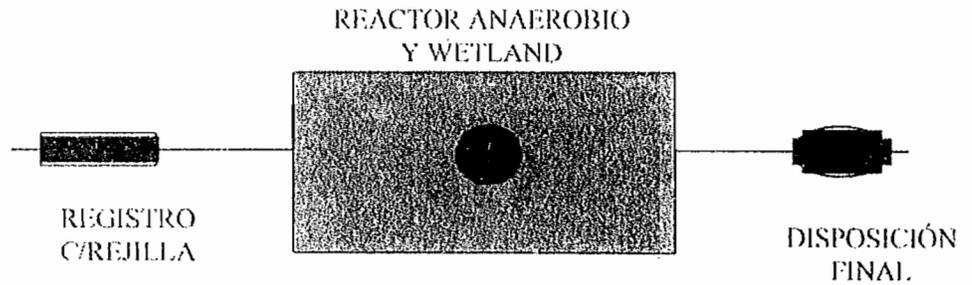
**DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO  
FILTRO BIOLÓGICO**

**FIGURA 5.2 DIAGRAMAS DE BLOQUES DE PROCESO**

En la **FIGURA 5.3** se muestran los diagramas de bloques de proceso de los sistemas de tratamiento que incluyen en su configuración al filtro sumergido de película fija, a la planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces y al BRAIN.



**DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO.  
FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FIJA**



**DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO  
TRATAMIENTO ANAEROBIO DE FILTRO DE  
LECHO DE RAÍCES**



**DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO  
BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO**

**FIGURA 5.3 DIAGRAMAS DE BLOQUES DE PROCESO**

En la **FIGURA 5.4** se muestran las vistas en planta y corte de cada unidad conformante del sistema de tratamiento Fosa Séptica, así como las principales dimensiones de construcción en función de la capacidad que se requiera. En la **TABLA 5.5** se indican los factores que se deben considerar para evaluar el proceso de fosa séptica.

En la **FIGURA 5.5** se muestran las vistas en planta y corte de la unidad de tratamiento del sistema de aireación prolongada. En la **FIGURA 5.6** se presenta el arreglo general del sistema de tratamiento que integra en su configuración aireación extendida, así como las principales dimensiones de construcción para las capacidades de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/d. En la **TABLA 5.6** se indican los factores que se deben considerar para evaluar el proceso de aireación extendida.

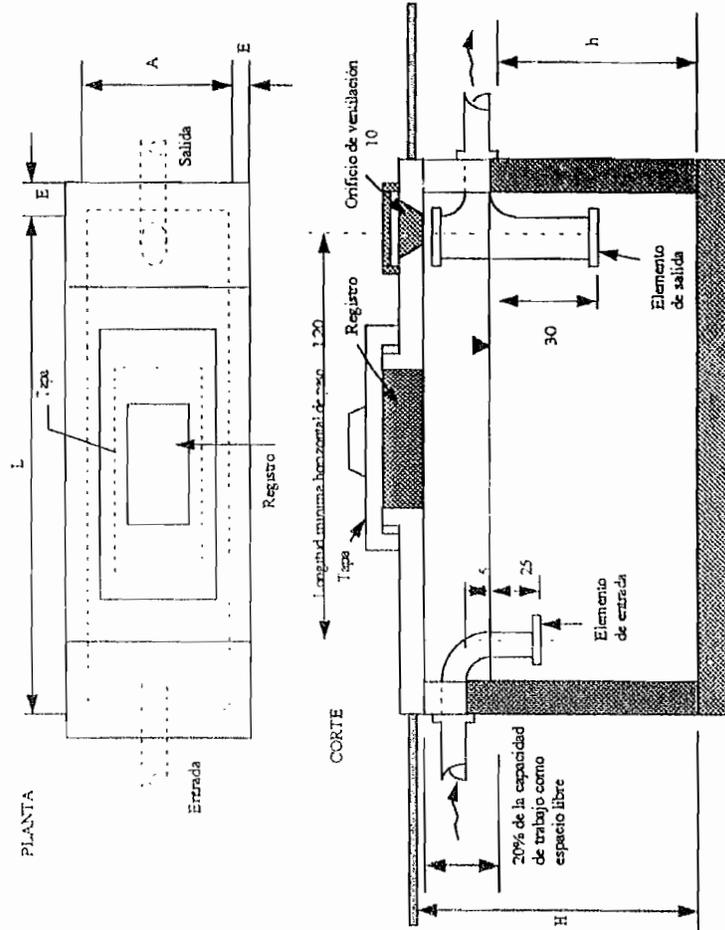
En la **FIGURA 5.7** se muestran las vistas en planta y corte de cada unidad conformante del sistema de tratamiento Filtro Biológico, así como las principales dimensiones de construcción para las capacidades de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/d. En la **FIGURA 5.8** se muestra una vista en planta del arreglo general del sistema de tratamiento que incluye en su configuración al filtro biológico. En la **TABLA 5.7** se indican los factores que se deben considerar para evaluar el proceso de filtro biológico (planta de tratamiento *EKOFINN BIOCLERE*).

En la **FIGURA 5.9** se muestra un arreglo general de la planta de tratamiento que incluye en su configuración al filtro biológico sumergido. En la **FIGURA 5.10** se presenta una vista en planta y corte, así como un corte transversal de la unidad de tratamiento filtro sumergido de película fija, así como las principales dimensiones de construcción para las capacidades de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/d. En la **TABLA 5.8** se indican los factores que se deben considerar para evaluar el proceso del filtro sumergido de película fija.

En la **FIGURA 5.11** se muestra la vista en planta del arreglo general de la planta de tratamiento de aguas residuales, así como las principales dimensiones de construcción para las capacidades de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/d. En la **FIGURA 5.12** se muestra el corte del arreglo general de la planta de tratamiento. En la **TABLA 5.9** se indican los factores que se deben considerar para evaluar el proceso de la planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland).

En la **FIGURA 5.13** se presenta la vista en planta de las unidades del sistema de tratamiento que incluye en su configuración al BRAIN, así como las principales dimensiones de construcción para las capacidades de 5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/d. En la **TABLA 5.10** se indican los factores que se deben considerar para evaluar el proceso del BRAIN.

En la **TABLA 5.11** se presenta un resumen de las unidades conformantes de cada sistema de tratamiento. Esta tabla es importante, porque muestra los requerimientos de unidades para el buen funcionamiento de cada sistema.



DIMENSIONES

SERVICIO DOMESTICO	CAPACIDAD (litros)	L (cm)	A (cm)	h (cm)	H (cm)	Espesor (cm)	
						Tabique	Piedra
Hasta 10	1500	190	70	110	120	14	30
11 a 15	2250	200	90	120	178	14	30
16 a 20	3000	230	100	130	188	14	30
21 a 30	4500	250	120	140	208	14	30
31 a 40	6000	290	130	150	218	28	30
41 a 50	7500	340	140	150	218	28	30
51 a 60	9000	360	150	160	228	28	30
61 a 60	12000	390	170	170	238	28	30
81 a 100	15000	440	180	180	248	28	30

L: largo interior del tanque  
 A: ANCHO INTERIOR DEL TANQUE  
 h: tirante  
 H: Profundidad máxima  
 E: espesor de muros

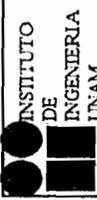
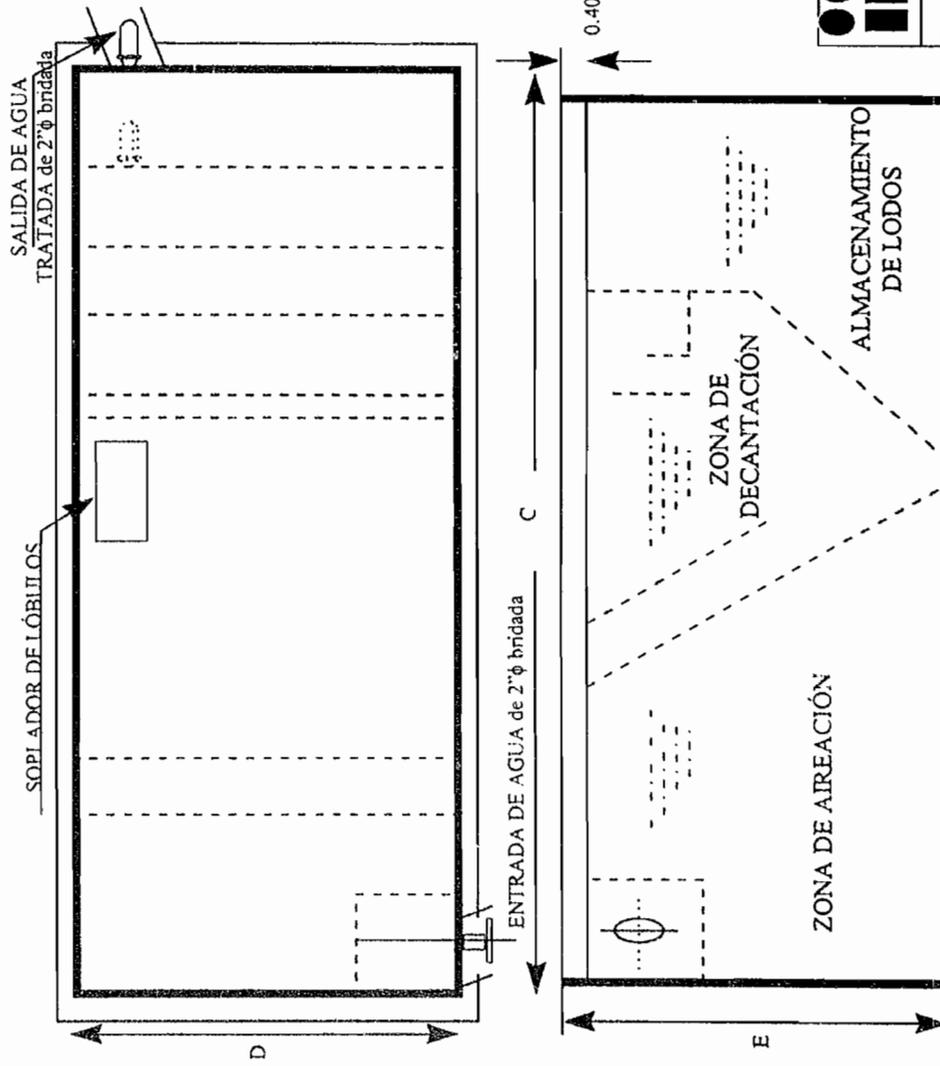
 INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM	FOSA SÉPTICA
	PLANTA Y CORTE
Tesis "Evaluación Técnico-Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias <i>in situ</i> "	
Miriam Eveiza Téllez Ballesteros	CROQUIS 1

FIGURA 5.4 FOSA SÉPTICA

**TABLA 5.5 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE FOSA SÉPTICA**

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	La fosa séptica es un proceso biológico anaerobio de tratamiento de aguas residuales domésticas. Se emplea en México con mucha frecuencia, pero presenta problemas como la falta de mantenimiento y no contar con un método de pulimento del efluente, lo cual propicia la contaminación del sitio donde se disponga el efluente.
2. Intervalo aplicable al flujo	Es capaz de tratar caudales de 2.5 a 25 m <sup>3</sup> /día (poblaciones de 10 a 100 habitantes con una dotación promedio de 250 l/h/día)
3. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica ( <i>TABLA 1.8</i> ), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
4. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en un agua residual doméstica. Su presencia puede retardar o inhibir completamente el metabolismo bacterial, además se tendría problemas con la disposición final de lodos. Las grasas y aceites se eliminan con un degreasador, antes del ingreso del influente a la fosa y las natas se eliminan con un desnatador dentro de la unidad.
5. Área disponible	Depende del número de habitantes por servir, en este sentido, la fosa ocupa un espacio reducido, lo que requiere de mayor área es el método de pulimento del efluente.
6. Funcionamiento	Por sí sola, la fosa no cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y reuso, sin embargo al contar con algún método de pulimento del efluente, sí se cumple con las disposiciones. Se adapta a todo tipo de clima.
7. Restricciones ambientales	Se deberá considerar la posibilidad de malos olores, el NAF debe estar a 1.5 m abajo del fondo del tanque, para evitar la contaminación del mismo.
8. Requerimientos químicos	Ninguno
9. Requerimientos energéticos	El proceso no requiere de energía eléctrica, ya que el sistema es anaerobio, por lo cual no requiere de inyección de aire; además el agua fluye por gravedad dentro del sistema.

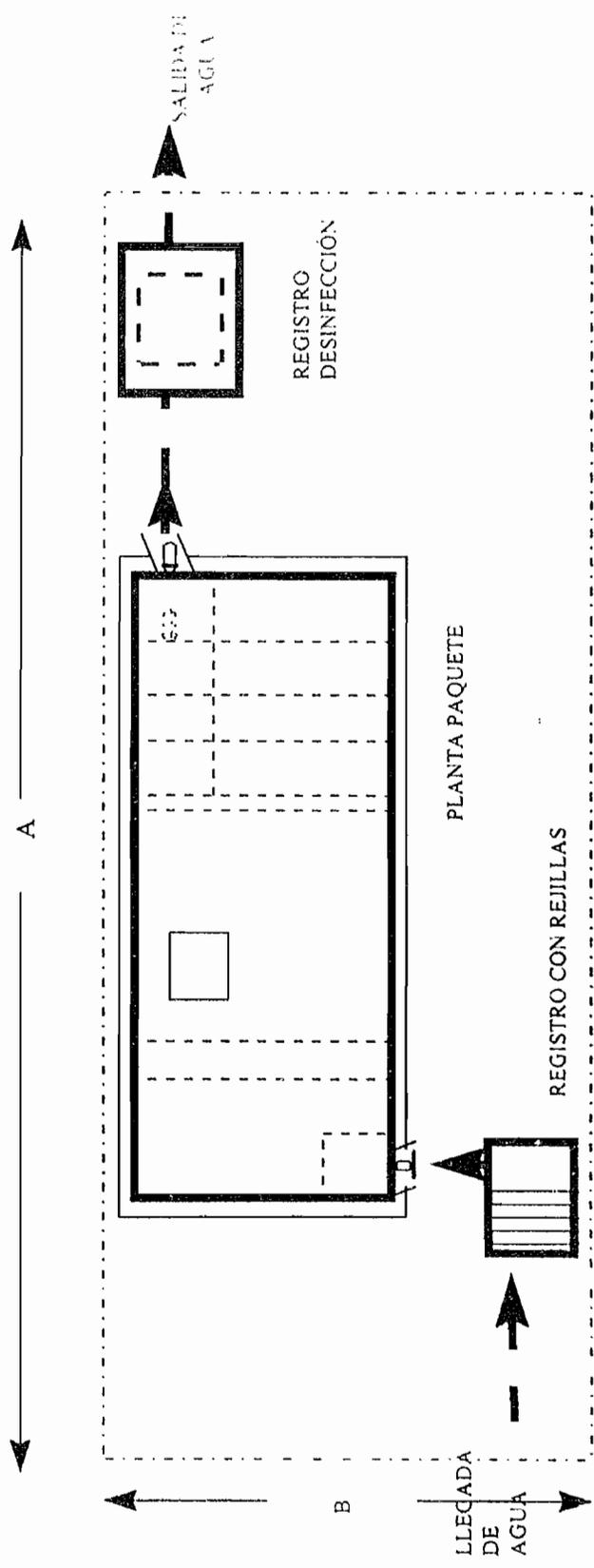
VISTA EN PLANTA



DIMENSIONES				
GASTO (m <sup>3</sup> /d)	C m	D m	E m	
5	2.984	1.40	2.36	
10	3.163	2.28	2.36	
15	4.290	2.28	2.96	

	PT DE AGUAS RESIDUALES AIREACIÓN EXTENDIDA
	PLANTA Y CORTE
Tesis "Evaluación Técnico-Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias <i>in situ</i> "	
Minám Evelia Téllez Ballesteros	CROQUIS 2

FIGURA 5.5 AIREACIÓN PROLONGADA. VISTA EN PLANTA Y CORTE DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO



MALLA CICLÓNICA (opcional)

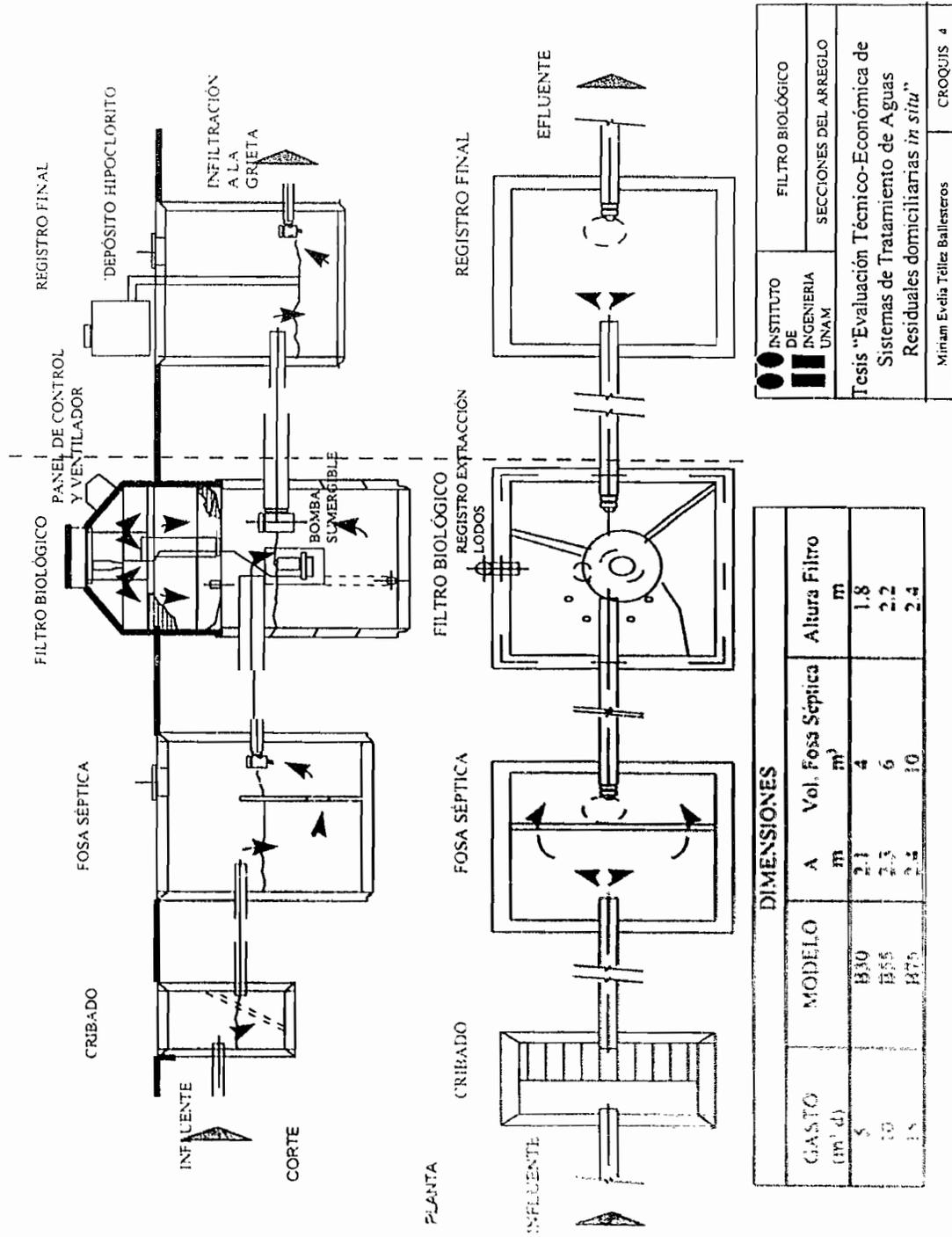
DIMENSIONES		
GASTO (m <sup>3</sup> /d)	A m	B m
5	4.50	3.00
10	5.00	3.50
15	5.80	3.50

**FIGURA 5.6 AIREACIÓN EXTENDIDA ARREGLO GENERAL.**

	PT DE AGUAS RESIDUALES AIREACIÓN EXTENDIDA
	ARREGLO GENERAL PLANTA
Tesis "Evaluación Técnico-Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias <i>in situ</i> "	
Miriam Evelia Téllez Ballesteros	CROQUIS 3

**TABLA 5.6 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE AIREACIÓN EXTENDIDA**

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	Se dispone de información proveniente de pruebas piloto y condiciones de operación para diferentes tipos de agua residual.
2. Intervalo aplicable al flujo	Es capaz de tratar caudales de hasta 190 m <sup>3</sup> /día (poblaciones de 2500 habitantes)
3. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica (TABLA 1.8), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
4. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en un agua residual doméstica. Su presencia puede retardar o inhibir completamente el metabolismo bacterial, además se tendría problemas con la disposición final de lodos. Las grasas y aceites se eliminan con un degreasador/desnatador antes del ingreso del influente al tanque de aireación.
5. Área disponible	Depende del caudal de diseño por tratar; sin embargo, la planta de tratamiento con este sistema ocupa poco espacio.
6. Funcionamiento	Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y reuso
7. Restricciones ambientales	Se deberá considerar la posibilidad de malos olores, en caso de que no exista una adecuada aireación, y el ruido producido por el equipo electromecánico. Las temperaturas óptimas para la actividad bacteriana es de 25 a 35°C. la digestión aerobia y la nitrificación se detiene cuando la temperatura alcanza los 50°C, mientras que a los 2°C, las bacterias heterótrofas que actúan sobre el material carbonáceo cesan su metabolismo
8. Requerimientos químicos	Ninguno
9. Requerimientos energéticos	Es el proceso de tratamiento biológico de aguas residuales de mayores requerimientos energéticos, ya que el equipo electromecánico (bombas y aireadores) trabajan en continuo, con el consiguiente consumo de energía

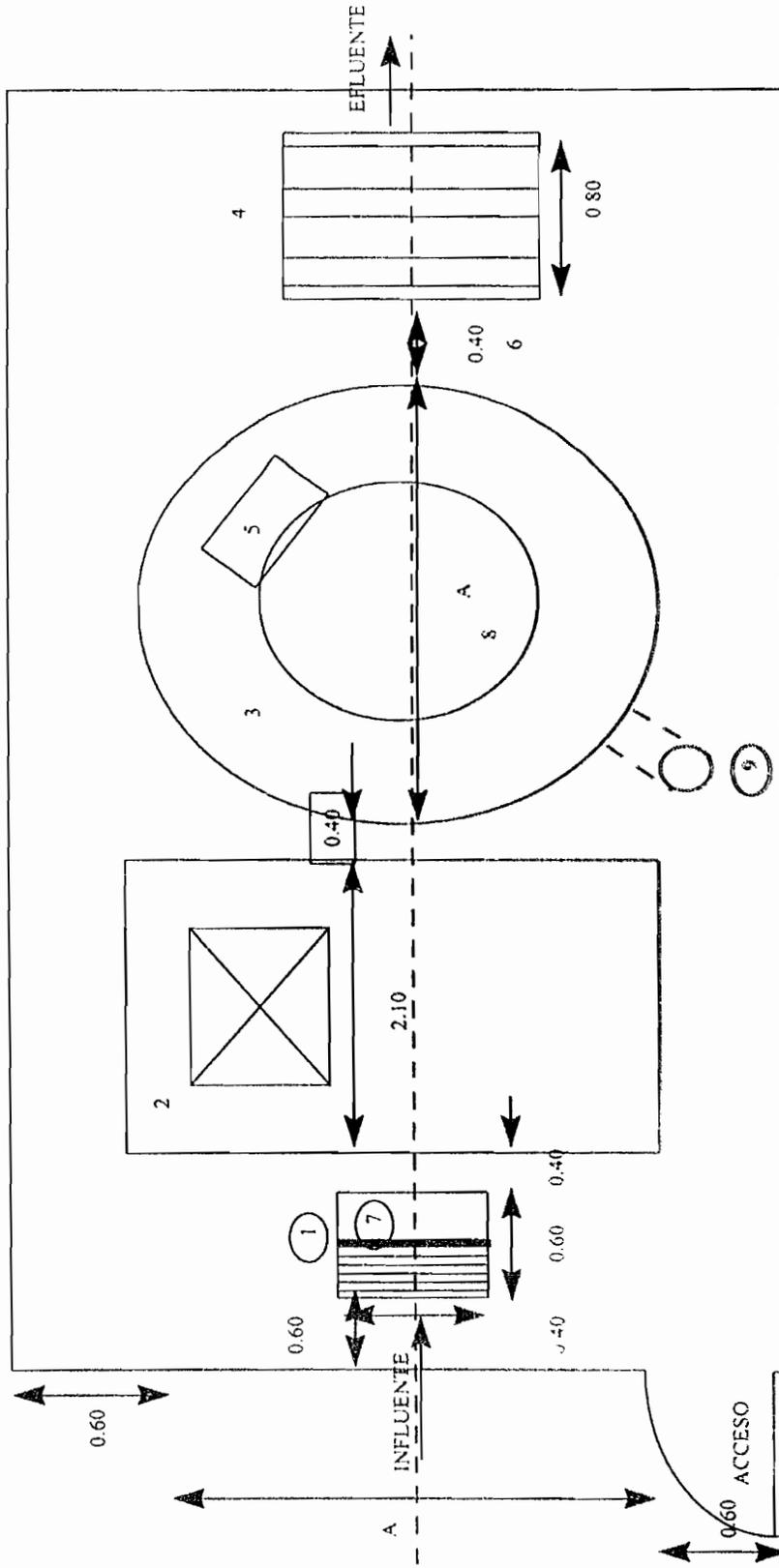


**DIMENSIONES**

GASTO (m <sup>3</sup> /d)	MODELO	A m	Vol. Fosa Séptica m <sup>3</sup>	Altura Filtro m
5	B30	2.1	4	1.8
10	B55	2.3	6	2.2
15	B75	2.4	10	2.4

<p>INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM</p>	FILTRO BIOLÓGICO
	SECCIONES DEL ARREGLO
<p>Tesis "Evaluación Técnico-Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias <i>in situ</i>"</p>	
Minam Evelia Téllez Ballesteros	CROQUIS 4

FIGURA 5.7 ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. VISTA EN PLANTA Y CORTE. **FILTRO BIOLÓGICO**



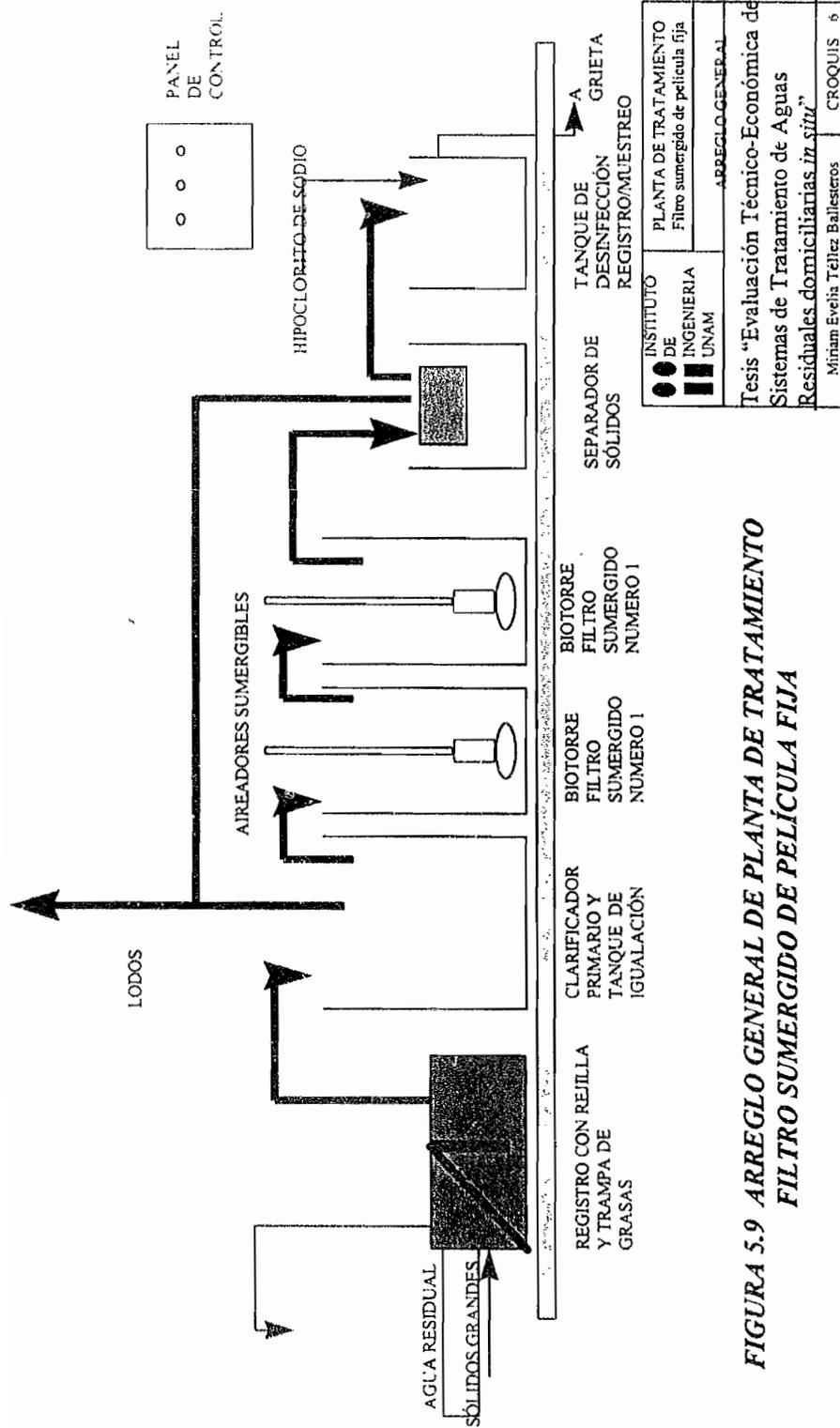
- |   |                             |   |  |
|---|-----------------------------|---|--|
| 1 | CRIBADO                     | 6 | DEPÓSITO HIPOCLORITO (DONDE SE REQUIERA) |
| 2 | FOSA SEPTICA                | 7 | TRAMPA DE GRASAS (donde se requiera)     |
| 3 | BIOFILTRO                   | 8 | BOMBA SUMERGIDA                          |
| 4 | REGISTRO INAC               | 9 | REGISTRO EXTRACCIÓN DEL AIRE             |
| 5 | PANEL DE CONTROL VENTILADOR |   |  |

	FILTRO BIOLÓGICO
	ARREGLO GENERAL PLANTA
Tesis "Evaluación Técnico-Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias <i>in situ</i> " Wladimir Estrella Pérez Rodríguez CROQUIS 3	

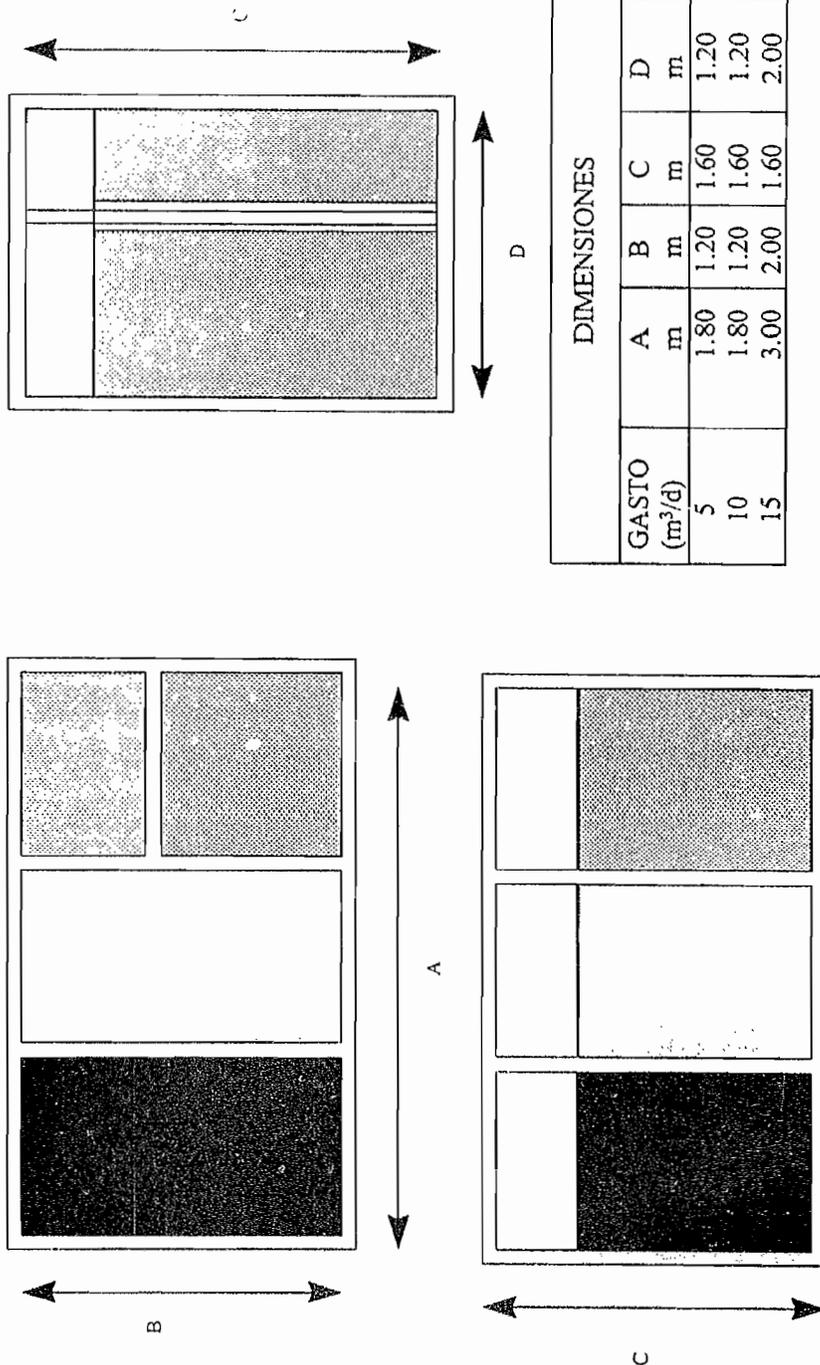
FIGURA 3.3. ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. VISTA EN PLANTA. FILTRO BIOLÓGICO

**TABLA 5.7 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO EKOFINN BIOCLERE**

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	Se trata de un sistema , cuya unidad de tratamiento es de tipo aerobio (filtro percolador), es una propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas con el fin de mejorar la calidad del agua residual tratada a un menor costo.
2. Intervalo aplicable al flujo	Es capaz de tratar caudales de 1.5 a 190 m <sup>3</sup> /día (poblaciones de 10 a 2500 habitantes)
3. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica ( <i>TABLA 1.8</i> ), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
4. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en un agua residual doméstica. Su presencia puede retardar o inhibir completamente el metabolismo bacterial, además se tendría problemas con la disposición final de lodos.
5. Área disponible	Depende del caudal de diseño por tratar; sin embargo, la planta de tratamiento con este sistema ocupa poco espacio.
6. Funcionamiento	Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y reuso (NOM-001-CNA-1997)
7. Restricciones ambientales	No se identifican problemas causados por presencia de malos olores, siempre y cuando la fosa séptica cuente con un buen mantenimiento.
8. Requerimientos químicos	Ninguno
9. Requerimientos energéticos	El proceso requiere del suministro de energía eléctrica, para poder elevar el agua a la parte superior del biofiltro para que se distribuya uniformemente a través del medio filtrante.



**FIGURA 5.9 ARREGLO GENERAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO  
FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FIJA**



 INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM	PLANTA DE TRATAMIENTO Filtro sumergido de película fija
	ARREGLO GENERAL
Tesis "Evaluación Técnico-Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias <i>in situ</i> "	
Miriam Evelia Téllez Ballesteros	CROQUIS 7

FIGURA 5.10 ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FIJA

**TABLA 5.8 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DEL FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FIJA**

1. Aplicabilidad de los procesos	El filtro sumergido de película fija emplea un proceso biológico aerobio para el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico. Se cuenta con algunos sistemas trabajando.
2. Intervalo aplicable al flujo	Es capaz de tratar caudales hasta de 190 m <sup>3</sup> /día (poblaciones de 2500 habitantes)
3. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica ( <b>TABLA 1.8</b> ), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
4. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en un agua residual doméstica. Su presencia puede retardar o inhibir completamente el metabolismo bacterial, además se tendría problemas con la disposición final de lodos.
5. Área disponible	Depende del caudal de diseño por tratar; sin embargo, la planta de tratamiento con este sistema ocupa poco espacio.
6. Funcionamiento	Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y reuso (NOM-001-CNA-1997)
7. Restricciones ambientales	No se identifican problemas causados por presencia de malos olores y es inaudible a 2 m de distancia de la planta.
8. Requerimientos químicos	Ninguno
9. Requerimientos energéticos	El proceso requiere de la inyección de aire para que en las biorreactores se lleve a cabo la oxidación de la materia orgánica, con el consiguiente consumo de energía eléctrica

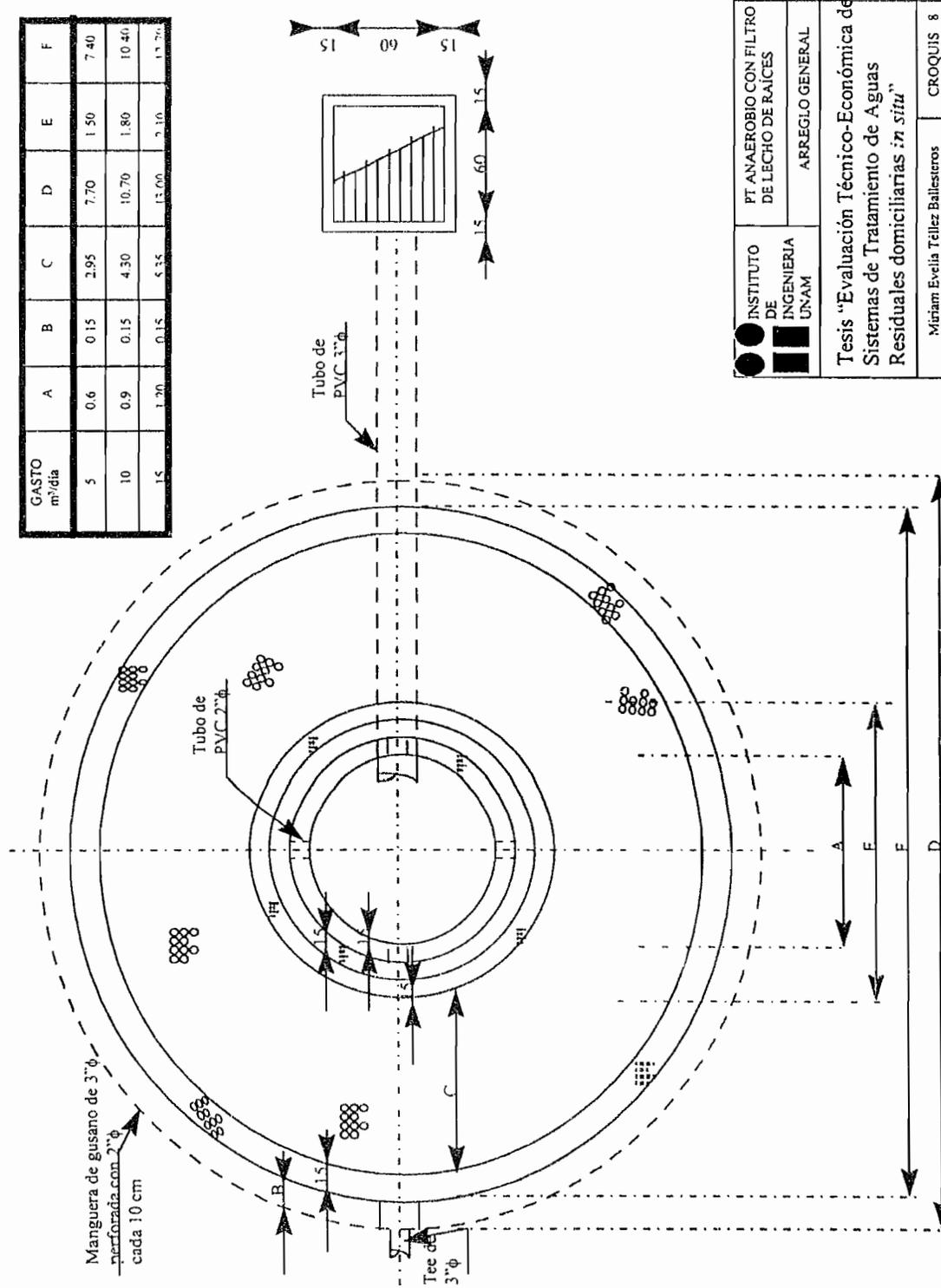
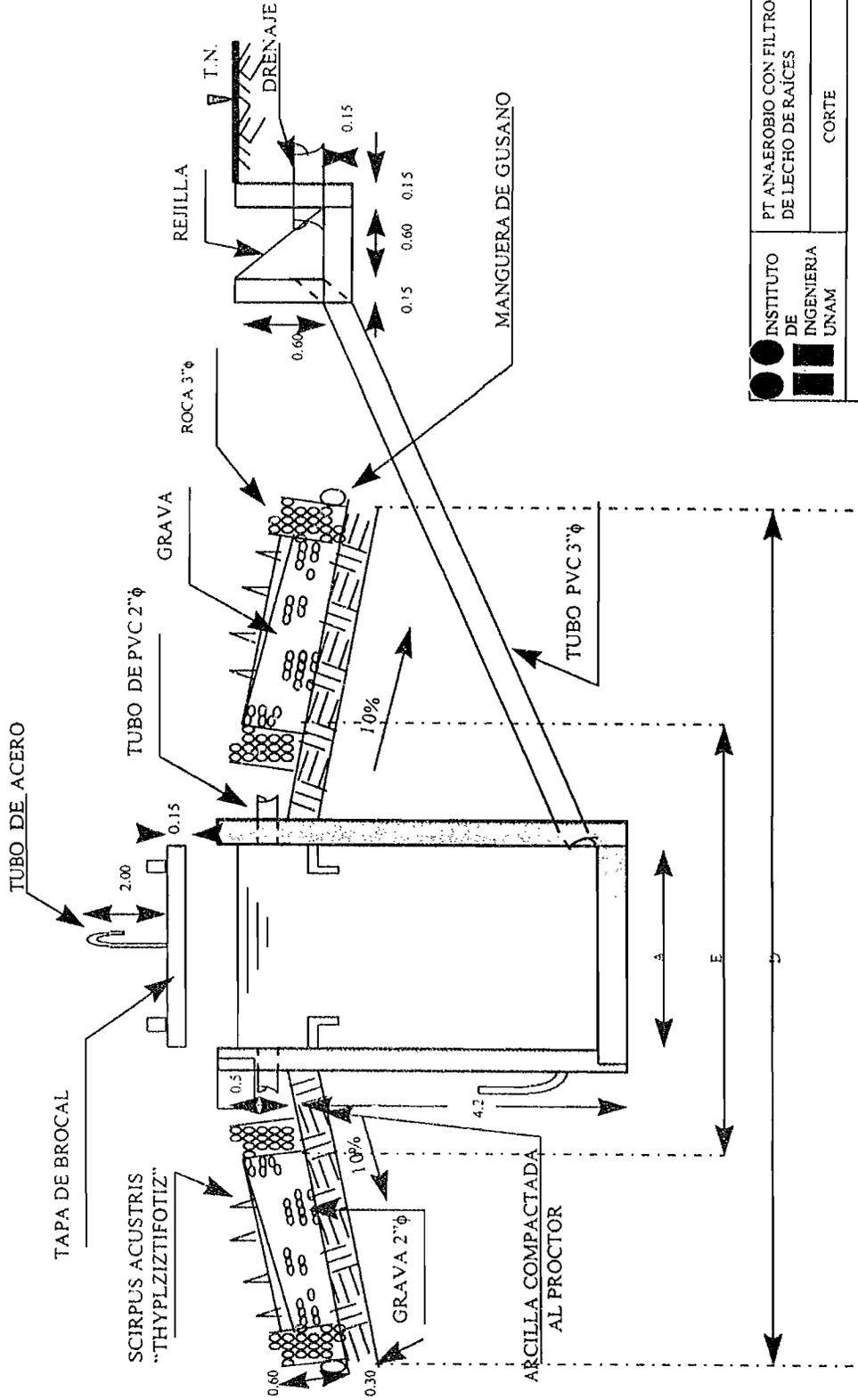


FIGURA 5.11 ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES

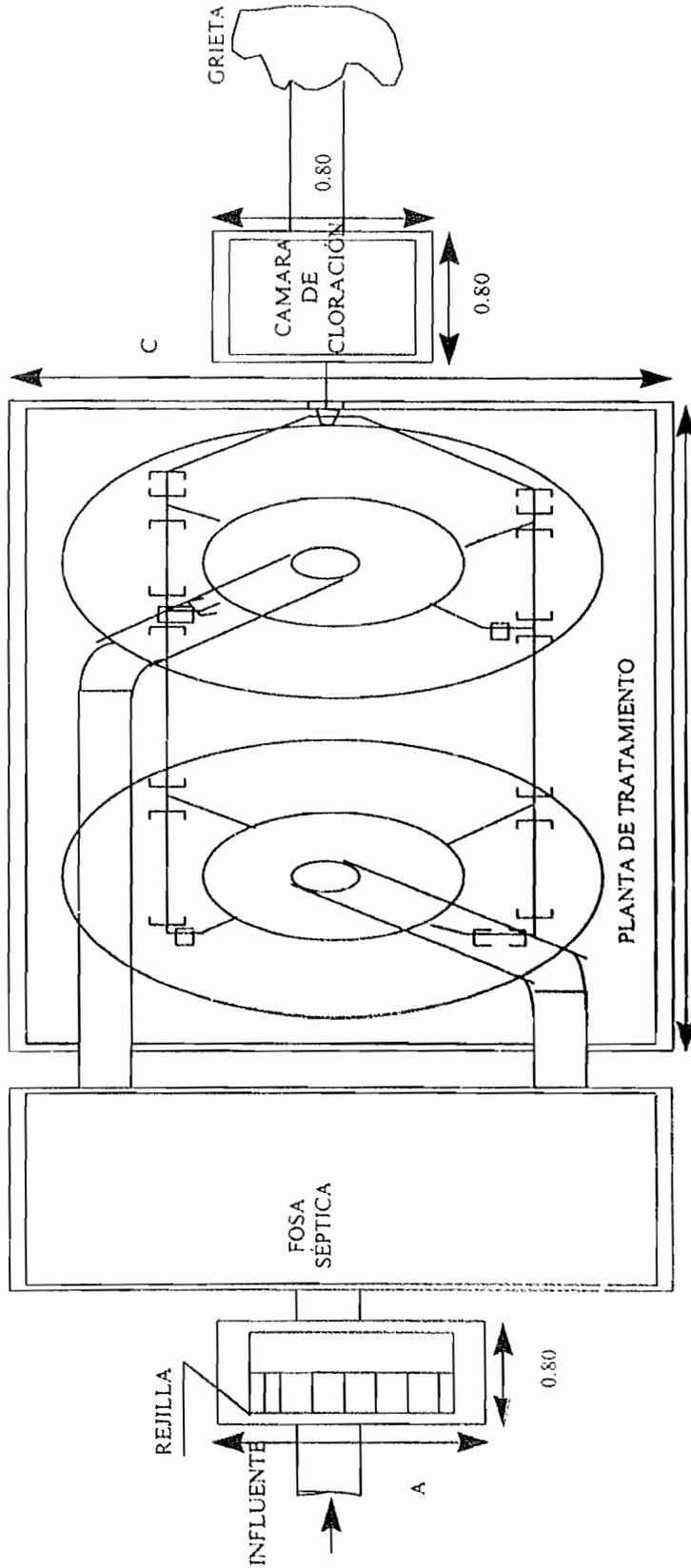


	PT ANAEROBIO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES
	CORTE
Tesis "Evaluación Técnico-Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias <i>in situ</i> "	
Miriam Evelia Téllez Ballesteros	CROQUIS 9

**FIGURA 5.12 CORTE DEL ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES**

**TABLA 5.9 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR LA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES (WETLAND)**

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	Esta planta de tratamiento consta de un reactor biológico anaerobio para el tratamiento de las aguas residuales, el proceso se complementa con una unidad de pulimento consistente en un sistema de filtros biológicos de tipo humedal de flujo subterráneo (Wetland). Se cuenta con datos de operación de este sistema.
2. Intervalo aplicable al flujo	Para caudales mayores a los 200 m <sup>3</sup> /día o poblaciones mayores a 100 habitantes no es recomendable el uso de este sistema.
3. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica (TABLA 1.8), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
4. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en un agua residual doméstica. Su presencia puede retardar o inhibir completamente el metabolismo bacterial, además se tendría problemas con la disposición final de lodos.
5. Área disponible	Depende del caudal de diseño por tratar; la planta de tratamiento con este sistema ocupa mayor espacio (aprox. se necesita 10% más de área) que los otros sistemas evaluados.
6. Funcionamiento	Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y reuso. Este sistema no requiere de unidad de desinfección.
7. Restricciones ambientales	El sistema es superficial, por lo cual, sin una adecuada operación se pueden generar problemas de procreación de insectos, malos olores.
8. Requerimientos químicos	Ninguno
9. Requerimientos energéticos	El proceso no requiere de energía eléctrica, ya que el sistema es anaerobio, por lo cual no requiere de inyección de aire; además el agua fluye por gravedad dentro del sistema.



DIMENSIONES				
GASTO (m <sup>3</sup> /d)	A m	B m	C m	No. de tanques
5	0.80	4.00	2.00	2
10	0.80	4.00	4.00	4
15	1.40	4.00	4.00	6

	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (BRAIN)
	ARREGLO GENERAL
Tesis "Evaluación Técnico-Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales domiciliarias <i>in situ</i> "	
Minam Evellia Téllez Ballesteros	CROQUIS 10

FIGURA 5.13 ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA. BRAIN.

**TABLA 5.10 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DEL BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO**

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	La planta paquete consiste de un reactor biológico anaerobio con filtro anaerobio de flujo ascendente. Se cuenta con algunos sistemas funcionando.
2. Intervalo aplicable al flujo	Es capaz de tratar caudales de hasta 190 m <sup>3</sup> /día (poblaciones de 2500 habitantes)
3. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica (TABLA 1.8), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
4. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en un agua residual doméstica. Su presencia puede retardar o inhibir completamente el metabolismo bacterial, además se tendría problemas con la disposición final de lodos.
5. Área disponible	Depende del caudal de diseño por tratar; sin embargo, la planta de tratamiento con este sistema ocupa poco espacio.
6. Funcionamiento	Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y reuso (NOM-001-CNA-1997)
7. Restricciones ambientales	No se identifican problemas causados por presencia de malos olores.
8. Requerimientos químicos	Ninguno
9. Requerimientos energéticos	El proceso no requiere de energía eléctrica, ya que el sistema es anaerobio, por lo cual no requiere de inyección de aire; además el agua fluye por gravedad dentro del sistema.

TABLA 5.11 UNIDADES QUE CONFORMAN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

Sistema de Tratamiento	Caja de llegada	Unidad de Rejillas	Cámara de desarenador	Carcamo de bombeo	Fosa Séptica	Unidad de tratamiento	Sedimentador	Filtro	A	B	C	D	E
Fosa Séptica	✓	✓				✓						✓	✓
Aireación extendida	✓	✓		✓		✓	✓		✓	✓		✓	
Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE	✓	✓			✓	✓				✓		✓	
Filtro Sumergido de Película Fija.	✓	✓				✓	✓			✓		✓	
Planta de tratamiento con filtro de lecho de raíces	✓	✓				✓	✓					✓	✓
Bioreactor Anaerobio Integrado	✓	✓	✓			✓		✓		✓		✓	

A. Tanque de almacenamiento y retención

B. Tanque de cloración

C. Lechos de secado

D. Registro de descarga final

E. Sistema de absorción en el suelo

## 6. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO "IN SITU"

En este trabajo, se presenta la evaluación económica de los procesos que incluyen en su tren de tratamiento, fosa séptica, aireación extendida, filtros biológicos, filtro sumergido de película fija, lecho de raíces, y bioreactor anaerobio integrado.

### 6.1 Estimación de costos

En la formulación y evaluación de un proyecto de tratamiento de aguas residuales "*in situ*", es necesario contar con diferente información; y según la disponibilidad y confiabilidad de ésta, se obtendrán resultados que permiten, con mayor o menor grado de precisión, decidir la conveniencia de seleccionar un proyecto de tratamiento de aguas residuales.

Habiéndose determinado el estudio técnico de un proyecto de tratamiento de aguas residuales domiciliarias "*in situ*", la evaluación económica pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para su realización, cuál será el costo total de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, así como otra serie de indicadores que servirán de base para su viabilidad.

Una estimación razonable de costos de construcción, operación y mantenimiento se pueden obtener utilizando estimaciones : globales, por comparaciones, mediante actualización de precios, consultando catálogos y cotizaciones preliminares y mediante precios unitarios y cotizaciones definitivas.

Aunque los costos de un país usualmente no son aplicables directamente a otros países, las relaciones entre los costos observados en los varios tipos de tratamiento son útiles, y particularmente los costos unitarios en función del tamaño de la planta.

Se tienen cinco formas de estimación de las inversiones, las cuales deben ir acorde con la importancia de la inversión y naturaleza de la obra.

**6.1.1 Estimaciones globales:** Para proyectos de tratamiento de aguas residuales, se parte del equipo principal, conociendo el costo aproximado de éste se multiplica por 3 o 4 veces y se tiene un dato aproximado de la inversión total del proyecto. Se llega a una estimación global de un  $\pm 25\%$  (Baca, 1995).

**6.1.2 Estimaciones por comparaciones:** Para la estimación de la inversión del proyecto, se parte de una planta de tratamiento similar, comparándose su costo de inversión con el que se quiere estimar a partir de las capacidades instaladas, utilizando la siguiente expresión:

---

$$IFP = (CIP/CIE)^n IFE$$

Donde:

IFE = Inversión de la planta de tratamiento conocida

CIE = Capacidad instalada en la planta de tratamiento conocida

CIP= Capacidad del proyecto en análisis

IFP =Inversión estimada del proyecto

n= exponente que refleja el costo de inversión por unidad de capacidad instalada. Para plantas de tratamiento pequeñas se considera en promedio 0.6. (Baca, 1995)

**6.1.3 Estimaciones mediante actualización de precios:** En este caso se tienen datos de costos de inversión atrasados, que pueden ser de otros proyectos, lo que se hace es utilizar los índices de precios y actualizar los valores de los diferentes rubros de inversión contemplados.

$$VAB = (INPC_a(VOB))/INPC_b$$

Donde:

VOB = Inversión original de la planta de tratamiento

VAB = Inversión actual de la planta de tratamiento

INPC<sub>b</sub> := Índice Nacional de Precios al Consumidor base

INPC<sub>a</sub> Índice Nacional de Precios al Consumidor actual

Entre más alejado se encuentre el rango de actualización de los precios, el error se va incrementando (Baca, 1995). Cabe aclarar, que el índice nacional de precios al consumidor no refleja la situación en plantas de tratamiento, ya que en México no existen índices referentes a esta área, pero existen índices de la EPA, cuya aplicación se explica más adelante.

**6.1.4 Estimaciones mediante catálogos y cotizaciones preliminares:** Algunos proveedores de equipos tanto nacionales como extranjeros manejan catálogos de precios, sobre todo para capacidades de tratamiento estándar, por lo que estos valores se toman como costos de inversión.

El margen de error en esta forma de cálculo es de + 10% (Baca, 1995).

**6.1.5 Estimaciones mediante precios unitarios y cotizaciones definitivas:** En este último caso, las inversiones son calculadas sobre un definitivo soporte técnico-económico, a partir del cual se proporcionan las especificaciones, diseños finales de los proveedores, cotizaciones escritas definitivas y presupuestos de obra con precios unitarios desglosados.

El margen de error de este último método varía del 3 al 5% (Baca, 1995).

Los propósitos de estimar la factibilidad económica son:

1. Ayudar a los administradores, ingenieros y funcionarios públicos involucrados en la planificación de sistemas de tratamiento de aguas, a determinar, en forma preliminar, el nivel general del capital y costos recurrentes con objeto de que le sirvan como una herramienta para la selección y planificación del sistema de tratamiento.
2. Permitir a los funcionarios verificar si las estimaciones de costos son razonables
3. Proporcionar pautas financieras para la toma de decisiones respecto a los sistemas de tratamiento de aguas residuales a ser evaluados.
4. Proporcionar elementos al usuario del tratamiento "*in situ*" para elegir el que más le convenga, en función de sus posibilidades económicas.

## 6.2 Factores a considerar en la estimación de costos

Los factores que principalmente afectan los costos de las instalaciones de tratamiento de agua "*in situ*" son:

- Tipo de planta
- Capacidad de la planta
- Costos locales de materiales y mano de obra
- Criterios de diseño (los diseños más conservadores conducen a componentes más grandes y costos mayores)
- Ubicación geográfica
- Transportación
- Condiciones climáticas
- Nivel de competencia entre los contratistas de construcción
- Tiempo de entrega de componentes críticos
- Equipo y material de importación

En la realidad, no es muy práctico incorporar todos estos factores en una estimación preliminar de costos para un proyecto particular; no obstante, se deben de considerar todas las condiciones que afectarán sustancialmente el costo de un proyecto y ajustar adecuadamente los datos de costos.

Un aspecto importante a considerar, sobre todo por la situación económica de México, es el factor inflación, ya que cuando se hacen los cálculos de un proyecto se toman datos de costos en tiempo presente y bajo las condiciones de presupuestos que no se mantienen en el mercado por más de tres meses, debiendo hacer ajustes posteriores en el momento en que se realice la construcción de la planta y la compra del equipo.

Es importante mencionar que los costos de tratamiento están en función del grado de tratamiento requerido. Por ello, es recomendable que la toma de decisiones para seleccionar el tipo de tratamiento aplicable a las aguas residuales, se realice conjuntamente un estudio de preinversión, para que con base en él se elija al sistema de tratamiento más conveniente.

### 6.3 Ajuste de costos

Para simplificar el proceso de actualización de costos, instituciones especializadas publican los llamados números índice, éstos permiten obtener una aproximación rápida y funcional de las listas de precios requeridas y referidas al período deseado.

Un índice es la representación del precio de un bien o grupo de bienes más o menos homogéneos, con las siguientes características:

- a) Se establece un valor igual a 100 para el año denominado base
- b) Se publican periódicamente los valores del índice
- c) El valor del índice para un período dado es el resultado de dividir el precio del bien o bienes en ese período entre el precio en el período base. El resultado de la división se multiplica por 100.

Es decir:

$$\text{COSTO ACTUALIZADO} = (\text{COSTO AÑO BASE} \times \text{IN ACTUAL}) / \text{IN BASE}$$

En la **TABLA 6.1** se muestran los índices de la EPA, desde 1975 a la fecha. Si bien, se les considera adecuado para uso general, pueden necesitar modificaciones o ajustes con base en la experiencia u otros factores aplicables al país para el cual se están preparando los estimados.

**TABLA 6.1 INDICES DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y  
OPERACIÓN/MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES SEGÚN LA AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS  
UNIDOS (EPA).**

AÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
1975	250	1.88
1976	262	2.03
1977	278	2.24
1978	305	2.35
1979	335	2.59
1980	365	2.94
1981	398	3.28
1982	422	3.50
1983	421	3.56
1984	416	3.69
1985	413	3.83
1986	403	3.78
1987	403	3.82
1988*	415	4.32
1989*	422	4.50
1990*	429	4.69
1991*	435	4.87
1992*	442	5.06
1993*	449	5.24
1994*	456	5.42
1995*	463	5.6
1996*	470	5.78
1997*	477	5.96

\* Estimados en base al comportamiento de los índices anteriores.

#### 6.4 Costos de Inversión

Para determinar el costo de construcción total o de inversión, es necesario seleccionar las unidades necesarias y sumar los costos de cada uno de los componentes propuestos.

En estas y otras categorías de costos (adquisición del terreno, drenaje del terreno, etc.), con éstas deben considerarse en cada proyecto específico, realizando las respectivas reservas en la estimación del costo final del proyecto.

Los costos de inversión por construcción para plantas de tratamiento de aguas residuales, comprenden los costos de los siguientes elementos:

- a) Obra Civil
- b) Equipamiento
- c) Sistema de Tuberías
- d) Instalación eléctrica
- e) Controles e Instrumentos
- f) Otros, este factor considera costos de inóculo o pago por uso de patente u otros pagos similares correspondientes a cada proyecto en específico.

#### **6.4.1 Obra Civil**

En el caso de los requerimientos de obra civil, es necesario conocer los elementos que integran el tren de tratamiento y que requieran de estructuras y tanques de concreto. Además es necesario dimensionar dichas unidades con base en los caudales por tratar para conocer los volúmenes de obra requeridos.

Los volúmenes de obra se estiman con base al m<sup>3</sup> de concreto armado necesario. El costo del m<sup>3</sup> de concreto armado de 250 kg/cm<sup>2</sup> y con el 20% de acero, es de \$ 1 500.00. Este precio incluye el material, armado, cimbrado, descimbrado, curado, impermeabilización integral, excavación y relleno. El precio global anterior simplifica la tarea de los precios unitarios requeridos en la industria de la construcción.

Para conocer los costos de inversión por equipamiento en una planta de tratamiento, es necesario conocer los elementos que integran el tren de tratamiento y que requieren de equipo electromecánico (bombas, aireadores) y accesorios propios del sistema.

En el caso de la Fosa Séptica, del Biorreactor Anaerobio Integrado y de la Planta de tratamiento con filtro de lecho de raíces no se requiere de ningún tipo de equipo electromecánico.

En la **TABLA 6.2** se indican las unidades que requieren de obra civil, la cantidad de obra y el costo total necesario para el tren de tratamiento que incluye la Fosa Séptica (construida

en sitio ) en su configuración. En la **TABLA 6.3** se indican los conceptos anteriores para Fosa Séptica Prefabricada *SANIMEX MONTIEL*.

**TABLA 6.2 VOLÚMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACIÓN A LA FOSA SÉPTICA, PARA DIFERENTES CAUDALES**

UNIDAD	Q = 5 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 10 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 15 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)
Registro de entrada	0.3	0.3	0.3
Fosa Séptica	1.41	2.10	2.57
Registro de salida	0.3	0.3	0.3
TOTAL (m <sup>3</sup> de concreto)	2.01	2.7	3.17
TOTAL (\$)	3015	4050	4755

**TABLA 6.3 VOLÚMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACIÓN A LA FOSA SÉPTICA PREFABRICADA (SANIMEX MONTIEL), PARA DIFERENTES CAUDALES**

UNIDAD	Q = 5 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 10 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 15 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)
Registro de entrada	0.3	0.3	0.3
Registro de salida	0.3	0.3	0.3
TOTAL (m <sup>3</sup> de concreto)	0.6	0.6	0.6
TOTAL (\$)	900	900	900

En la **TABLA 6.4** se indican las unidades que requieren de obra civil para el tren de tratamiento que incluye la planta paquete a base de Aireación Extendida.

**TABLA 6.4 SE INDICAN LAS UNIDADES QUE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE AIREACIÓN EXTENDIDA EN SU CONFIGURACIÓN**

UNIDAD	Q = 5 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 10 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 15 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)
Registro de entrada y salida	0.6	0.6	0.6
Tanque de almacenamiento	0.45	0.45	0.45
TOTAL (m <sup>3</sup> de concreto)	1.05	1.05	1.05
TOTAL (\$)	1575	1575	1575

En la **TABLA 6.5** se indican las unidades que requieren de obra civil para el tren de tratamiento que incluye la planta de tratamiento *EKOFINN BIOCLERE*, Filtros Biológicos.

**TABLA 6.5 SE INDICAN LAS UNIDADES QUE SE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE LA PLANTA DE TRATAMIENTO EKOFINN BIOCLERE (FILTROS BIOLÓGICOS) EN SU CONFIGURACIÓN**

UNIDAD	Q = 5 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 10 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 15 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)
Registro de entrada y salida	0.6	0.6	0.6
Fosa Séptica	1.41	2.10	2.57
TOTAL (m <sup>3</sup> de concreto)	2.01	2.7	3.17
TOTAL (\$)	3015	4050	4755

En la **TABLA 6.6** se indican las unidades que requieren de obra civil para el tren de tratamiento que incluye el Filtro Sumergido de Película Fija.

**TABLA 6.6 SE INDICAN LAS UNIDADES QUE SE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EL FILTRO SUMERGIDO DE PELÍCULA FJA EN SU CONFIGURACIÓN.**

UNIDAD	Q = 5 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 10 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 15 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)
Registro de entrada y salida	0.6	0.6	0.6
TOTAL (m <sup>3</sup> de concreto)	0.6	0.6	0.6
TOTAL (\$)	900	900	900

En la **TABLA 6.7** se indican las unidades que se requieren de obra civil para el tren de tratamiento que incluye la planta con filtro de lecho de raíces (wetland)

**TABLA 6.7 SE INDICAN LAS UNIDADES QUE SE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO DE LECHO DE RAÍCES (WETLAND) EN SU CONFIGURACIÓN**

UNIDAD	Q = 5 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 10 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 15 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)
Registro de entrada	0.3	0.3	0.3
Reactor Anaerobio	1.3	1.95	2.4
Registro de salida	0.3	0.3	0.3
TOTAL (m <sup>3</sup> de concreto)	1.9	2.55	3.0
TOTAL (\$)	2850	3825	4500

En la **TABLA 6.8** se indican las unidades que se requieren de obra civil para el tren de tratamiento que incluye el Bioreactor Anaerobio Integrado.

**TABLA 6.8 SE INDICAN LAS UNIDADES QUE SE REQUIEREN DE OBRA CIVIL PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EL BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO EN SU CONFIGURACIÓN.**

UNIDAD	Q = 5 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 10 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)	Q = 15 m <sup>3</sup> /día (m <sup>3</sup> de concreto armado)
Registro de entrada	0.3	0.3	0.3
Fosa Séptica	1.41	2.10	2.57
Cámara de cloración	0.3	0.3	0.3
TOTAL (m <sup>3</sup> de concreto)	2.01	2.7	3.17
TOTAL (\$)	3015	4050	4755

En la **TABLA 6.9** se indica el costo de inversión por obra civil de los trenes de tratamiento seleccionados, para diferentes caudales.

**TABLA 6.9 COSTO DE INVERSIÓN POR OBRA CIVIL DE LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAUDALES.**

Tren de Tratamiento	Q = 5 m <sup>3</sup> /día (\$)	Q = 10 m <sup>3</sup> /día (\$)	Q = 15 m <sup>3</sup> /día (\$)
Fosa Séptica construida en sitio	3015	4050	4755
Fosa Séptica Prefabricada (SANIMEX MONTIEL)	900	900	900
Aireación extendida	1575	1575	1575
P.T. EKOFINN BIOCLERE (Filtros Biológicos)	3015	4050	4755
Filtro Sumergido de Película Fija	900	900	900
Planta de tratamiento Anaerobio con filtro de lecho de raíces	2850	3825	4500
Bioreactor Anaerobio Integrado	3015	4050	4755

En la **FIGURA 6.1** se muestran en forma gráfica los resultados de la **TABLA 6.9**.

La nomenclatura empleada en las gráficas es :

FSCINSITU  
FSP  
AE  
EB  
FSPF  
WET  
BRAIN

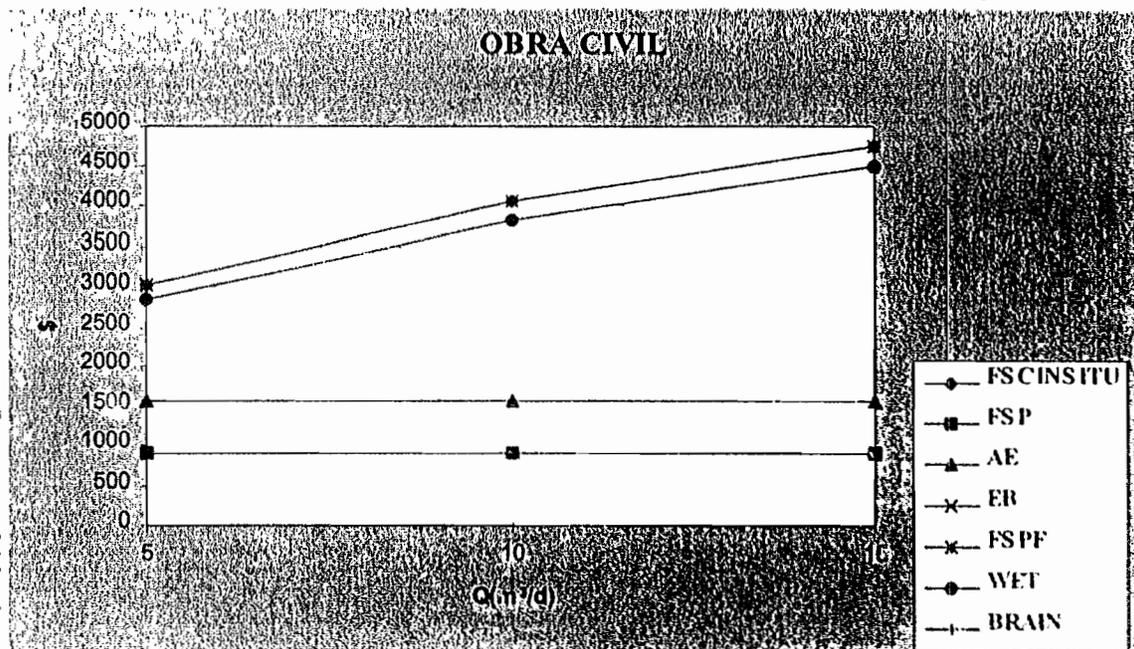


FIGURA 6.1 COSTO DE INVERSIÓN (\$), POR OBRA CIVIL PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA (M<sup>3</sup>/D)

#### 6.4.2 Costos de inversión por Tren de Tratamiento

En este apartado se consideran los costos por el equipo de tratamiento y uso de tecnología en las unidades de tratamiento principales, instalación del sistema, también se incluyen los costos de tuberías, controles e instrumentos (TABLA 6.10).

Para el caso de la fosa séptica, no se considera el costo por tecnología, sino el costo de la unidad de pulimento (obtenida mediante precios unitarios), este es el costo, por construcción del pozo de absorción o campo de infiltración, cualquiera de las dos alternativas, necesarias para dar pulimento al efluente. En el caso de la fosa séptica

prefabricada, los costos para la unidad de pulimento no varían, pero en el costo se incluye el costo que da el fabricante por la venta de la unidad de tratamiento.

**TABLA 6.10 COSTOS DEL TREN DE TRATAMIENTO, INCLUYENDO ELEMENTOS FUNDAMENTALES PARA LA OPERACIÓN ADECUADA DEL SISTEMA, PROPORCIONADOS POR EL FABRICANTE**

Unidad	5 m <sup>3</sup> /d (\$)	10 m <sup>3</sup> /d (\$)	15 m <sup>3</sup> /d (\$)
Fosa Séptica			
Con Pozo de absorción	14 281	15 416	16 818
Con campo de infiltración (30 m)	14 329	15 859	17 261
Fosa Séptica Prefabricada			
Con Pozo de absorción	27 755	42 322	57 150
Con campo de infiltración (30 m)	27 802	42 765	57 593
Aireación extendida	155 188	311 951	468 714
Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE	132 994	162 425	174 326
Filtro Sumergido de Película Fija	59 741	84 743	103 779
Planta de tratamiento Anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland)	132 150	146 175	165 500
Bioreactor Anaerobio Integrado	60 317	99 127	163 203

En la **TABLA 6.11** se integran los costos de inversión por obra civil, equipamiento, por la instalación y adquisición de la unidad de tratamiento, así como elementos complementarios de los sistemas de tratamiento seleccionados, para diferentes caudales.

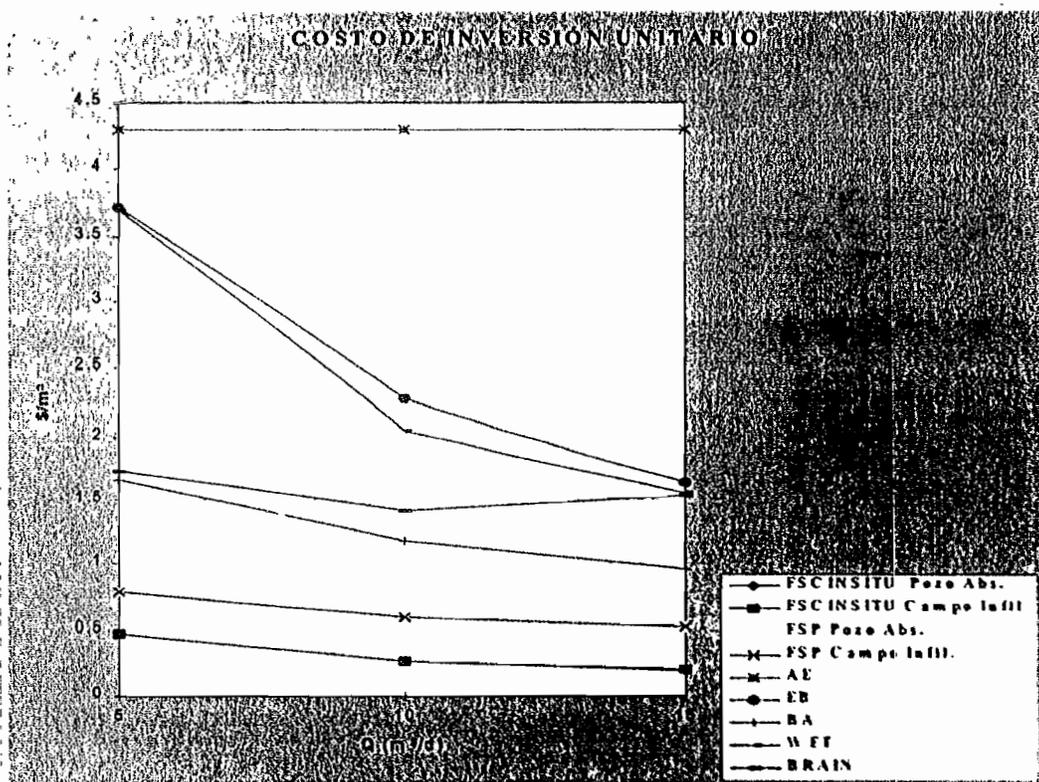
TABLA 6.11 COSTOS POR INVERSIÓN INICIAL

Unidad	5 m <sup>3</sup> /d (\$)	10 m <sup>3</sup> /d (\$)	15 m <sup>3</sup> /d (\$)
Fosa Séptica			
Con Pozo de absorción	17 296	19 466	21 573
Con campo de infiltración (30 m)	17 344	19 909	22 016
Fosa Séptica Prefabricada			
Con Pozo de absorción	28 655	43 222	58 050
Con campo de infiltración (30 m)	28 702	43 665	58 493
Aireación extendida	156 763	313 526	470 289
Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE	136 009	166 475	179 081
Filtro Sumergido de Película Fija	60 641	85 643	104 679
Planta de tratamiento Anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland)	135 000	150 000	170 000
Bioreactor Anaerobio Integrado	63 332	103 177	162 958

Por otro lado, en la *TABLA 6.12* se indica el costo unitario (considerando una vida útil de la planta de 20 años) de agua tratada por concepto de costos de inversión, así mismo, la información se muestra en forma gráfica en la *FIGURA 6.2*.

TABLA 6.12 COSTOS UNITARIOS POR INVERSIÓN INICIAL (\$/M<sup>3</sup> DE AGUA TRATADA)

Unidad	5 m <sup>3</sup> /d (\$/M <sup>3</sup> )	10 m <sup>3</sup> /d (\$/M <sup>3</sup> )	15 m <sup>3</sup> /d (\$/M <sup>3</sup> )
Fosa Séptica			
Con Pozo de absorción	0.474	0.267	0.197
Con campo de infiltración (30 m)	0.475	0.273	0.201
Fosa Séptica Prefabricada			
Con Pozo de absorción	0.785	0.592	0.530
Con campo de infiltración (30 m)	0.786	0.598	0.531
Aireación extendida	4.295	4.295	4.295
Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE	3.726	2.280	1.635
Filtro Sumergido de Película Fija	1.661	1.173	0.956
Planta de tratamiento Anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland)	3.700	2.055	1.553
Bioreactor Anaerobio Integrado	1.735	1.413	1.534



**FIGURA 6.2 COSTO UNITARIO (\$/M<sup>3</sup> DE AGUA TRATADA), POR COSTO DE INVERSIÓN PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M<sup>3</sup>/D)**

### 6.4.3 Costos de operación y mantenimiento

Los costos anuales de Operación y Mantenimiento (O y M) son altamente variables entre las plantas de tratamiento y más difíciles de estimar que los costos de construcción

Los costos de O y M dependen de los costos de mano de obra, calidad del agua cruda, grado de utilización del equipo, materiales importados y la complejidad de la instalación. Además, los costos de O y M dependen en gran medida de los costos de energía y compuestos químicos, los cuales se ven extremadamente afectados por los cambios en el mercado.

Para las plantas de tratamiento de aguas residuales "in situ", los costos de O y M, comúnmente comprenden:

- a) Compuestos químicos,
- b) Energía,

- c) Personal,
- d) Requerimientos de materiales para mantenimiento (no se incluyen en el presente trabajo, ya que su requerimiento es función del equipo existente y del proveedor),

Los costos presentados son de precios vigentes al segundo semestre de 1996.

#### 6.4.2.1 Compuestos químicos

Las necesidades de compuestos químicos en los trenes de tratamiento seleccionados, son únicamente de adición de cloro al efluente final, para desinfección.

Las dosis requeridas de cloro varían de acuerdo a la calidad del efluente obtenido de cada sistema en particular. Las dosis de cloro recomendadas para los trenes de tratamiento que incluyen desinfección (aireación extendida, planta de tratamiento *EKOFFIN BIOCLERE*, Filtro Sumergido de película fija, *BRAIN*), se muestran en la **TABLA 6.13**.

**TABLA 6.13 DOSIFICACIÓN DE CLORO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS (Manual de Tratamiento de aguas negras, 1986)**

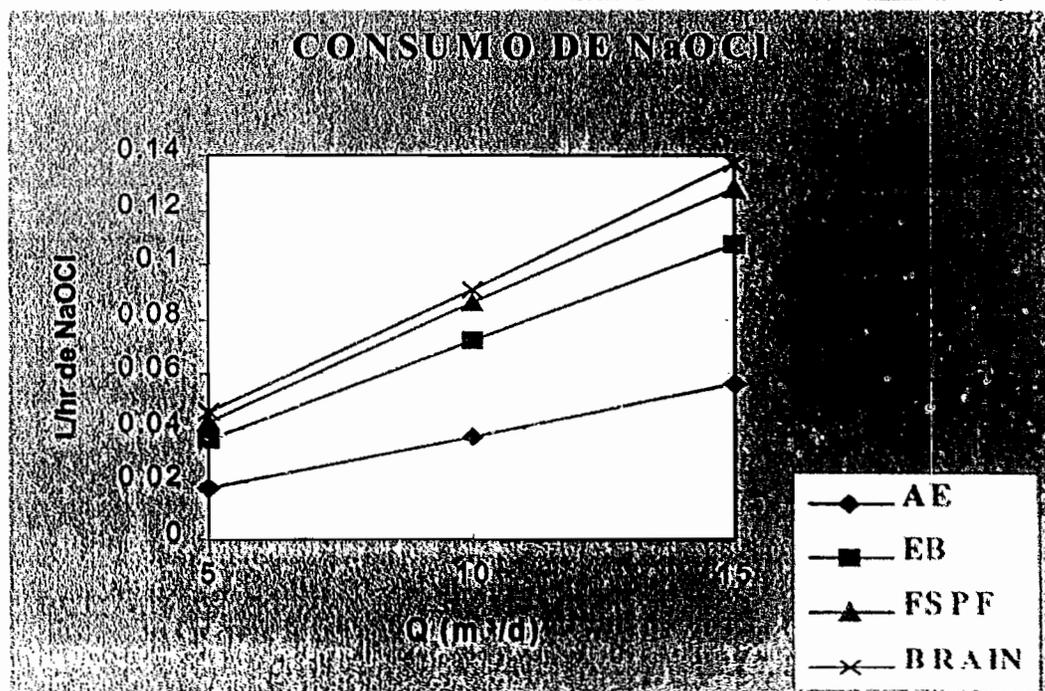
Aireación Extendida	15
Planta de Tratamiento <i>EKOFFIN BIOCLERE</i>	15
Filtro Sumergido de Película Fija	18
Bioreactor Anaerobio Integrado	20

De los sistemas de tratamiento seleccionados, existen algunos que no cuentan con un sistema de desinfección, como es el caso de la fosa séptica, el cual requiere de un método de disposición en terreno para purificar el efluente y reducir la cantidad de patógenos presentes en él; la Planta de tratamiento anaerobio con entramado biológico es un sistema que no requiere de desinfección, ya que mediante su proceso mismo se eliminan los patógenos.

Para evaluar el comportamiento de los trenes de tratamiento seleccionados con respecto a los requerimientos de cloro, se hicieron estimaciones con hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) en solución al 10% en peso a una gravedad específica de 1.14 y a un costo de 1.5 \$/L, mostradas en la **TABLA 6.14** y en forma gráfica en la **FIGURA 6.3**.

**TABLA 6.14 REQUERIMIENTOS DE HIPOCLORITO DE SODIO (NaOCl) AL 10% EN PESO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS ADIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA**

Unidad	5 m <sup>3</sup> /d	10 m <sup>3</sup> /d	15 m <sup>3</sup> /d
Aireación Extendida (L/hr)	0.01875	0.0375	0.05625
PT EKOFINN BIOCLERE (L/hr)	0.036	0.0719	0.108
Filtro Sumergido de Película fija	0.043	0.086	0.128
Bioreactor Anaerobio Integrado (L/hr)	0.046	0.091	0.137



**FIGURA 6.3 DOSIS DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 10% EN PESO (L. DE NaOCl/HR), PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (m<sup>3</sup>/d)**

De estos resultados, se obtiene que el tren de tratamiento de mayores requerimientos de cloro es el efluente del BRAIN, principalmente por tratarse de un tratamiento anaerobio, seguido por el efluente del tren que incluye en su configuración a la planta paquete filtro sumergido de película fija. El efluente que requiere menor dosificación de cloro es el efluente de aireación extendida, principalmente por tratarse de un efluente biológico secundario proveniente de un sistema con altos tiempos de retención.

En la **TABLA 6.15** se presentan los costos unitarios por desinfección, utilizando hipoclorito de sodio al 10% en peso.

**TABLA 6.15 COSTOS UNITARIOS POR DESINFECCIÓN (HIPOCLORITO DE SODIO AL 10% EN PESO)**

TRENO DE TRATAMIENTO	COSTO UNITARIO (COP)
Aireación Extendida	0.13
Planta de Tratamiento <i>EKOFFIN BIOCLERE</i>	0.25
Filtro Sumergido de Película fija	0.30
Bioreactor Anaerobio Integrado	0.33

De los costos unitarios por desinfección, es importante señalar que no varían en función de la capacidad de la planta, esto es porque no importa cuál sea el gasto, existen dosis predeterminadas por sistema de tratamiento reportados en concentración de cloro (mg de cloro/litro de agua tratada).

#### 6.4.2.2 Energía

Este factor es relevante en el caso del tratamiento de aguas residuales a nivel domiciliario, comunal e institucional, debido a que a mayores consumos de energía eléctrica, los costos de operación aumentan en forma significativa, lo que llevaría a los usuarios al abandono de las plantas altamente mecanizadas e instrumentadas. Este punto enfatiza la importancia de que la selección de la tecnología del tren de tratamiento minimice el consumo de energía.

Para lograr que el tren de tratamiento utilice la menor cantidad de energía eléctrica, es posible emplear algunas estrategias como:

- Seleccionar el tren de tratamiento utilice la menor cantidad de equipo electromecánico (bombas, aireadores, etc.)
- Diseñar el sistema con un perfil hidráulico tal que se favorezca el flujo por gravedad (hasta donde las características del terreno lo permita).
- Seleccionar lo menos sobrado el equipo electromecánico y enfatizar en que se trabaje a la capacidad de diseño.
- Proporcionar mantenimiento preventivo adecuado para que el equipo trabaje en condiciones óptimas

Los sistemas de tratamiento seleccionados que no emplean equipos electromecánicos son la fosa séptica, Planta de tratamiento anaerobio con filtro de lecho de raíces, y el Bioreactor Anaerobio Integrado.

Para evaluar los requerimientos energéticos de los trenes de tratamiento seleccionados, se identificó el equipo electromecánico requerido y se calculó la potencia necesaria, ajustando los valores encontrados a potencias de equipos disponibles en el mercado. El costo energético tiene un precio de \$0.30 KW-hr (\$0.40 Hp-hr). Los sistemas de aireación extendida, Planta de tratamiento EKOFFIN BIOCLERE y el Filtro Sumergido de Película Fija son los que requieren como equipo electromecánico de 1 bomba y de 1 aireador, por cual, adaptando el equipo necesario al existente en el mercado, se obtiene que es necesario usar una bomba de 1 Hp y un aireador de 1 Hp para los caudales considerados (5, 10 y 15 m<sup>3</sup>/d), asimismo, se considera que los tres sistemas tienen el mismo requerimiento de potencia, de 2 Hp; de lo anterior, se obtiene que para una potencia de 2 Hp, el costo energético por año es de \$4 149.00 para cada uno de los sistemas anteriores.

Como todos los sistemas anteriores requieren de la misma inversión por energía, entonces el costo unitario por este concepto únicamente va a variar por el tamaño de la planta. En la **TABLA 6.16** se muestra el costo de energía por m<sup>3</sup> de agua tratada en función de la capacidad de la planta.

**TABLA 6.16 COSTOS ENERGÉTICOS UNITARIOS EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD**

**6.4.2.3 Personal**

Las distintas clases de personal requeridas para operar y mantener una planta de tratamiento de agua residual están en función de:

- a) Capacidad de la planta
- b) Complejidad y
- c) Grado de equipamiento

De lo anterior, es posible inferir que conforme aumenta la capacidad, complejidad y grado de equipamiento de la planta, se incrementarán también los requerimientos de personal (en cantidad y grado de calificación) para operarla y mantenerla.

Ya que en el presente trabajo sólo se están considerando plantas de tratamiento de aguas residuales para pequeños caudales, no es necesaria la presencia de personal para su

verificación, ya que inclusive el usuario puede verificar que la planta se encuentre funcionando óptimamente de manera periódica.

El personal calificado que se requiere, en todo caso, es para proporcionarle mantenimiento al sistema, el cual generalmente lo incluye el fabricante en el costo de mantenimiento periódico.

Finalmente, en la **TABLA 6.17** y en la **FIGURA 6.4** se muestran los costos por m<sup>3</sup> de agua tratada, incluyen costos de inversión y de operación, para los trenes de tratamiento seleccionados en función de la capacidad de la planta.

**TABLA 6.17 COSTOS UNITARIOS POR INVERSIÓN Y OPERACIÓN EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA**

Unidad	5 m <sup>3</sup> /d (\$/M <sup>3</sup> )	10 m <sup>3</sup> /d (\$/M <sup>3</sup> )	15 m <sup>3</sup> /d (\$/M <sup>3</sup> )
Fosa Séptica			
Con Pozo de absorción	0.474	0.267	0.197
Con campo de infiltración (30 m)	0.475	0.273	0.201
Fosa Séptica Prefabricada			
Con Pozo de absorción	0.785	0.592	0.530
Con campo de infiltración (30 m)	0.786	0.598	0.534
Aireación extendida	6.695	5.565	5.185
Planta de tratamiento EKOFINN BIOCLERE	6.246	3.67	2.645
Filtro Sumergido de Película Fija	4.231	2.613	2.016
Planta de tratamiento Anaerobio con filtro de lecho de raíces (wetland)	3.700	2.055	1.553
Bioreactor Anaerobio Integrado	2.065	1.743	1.738

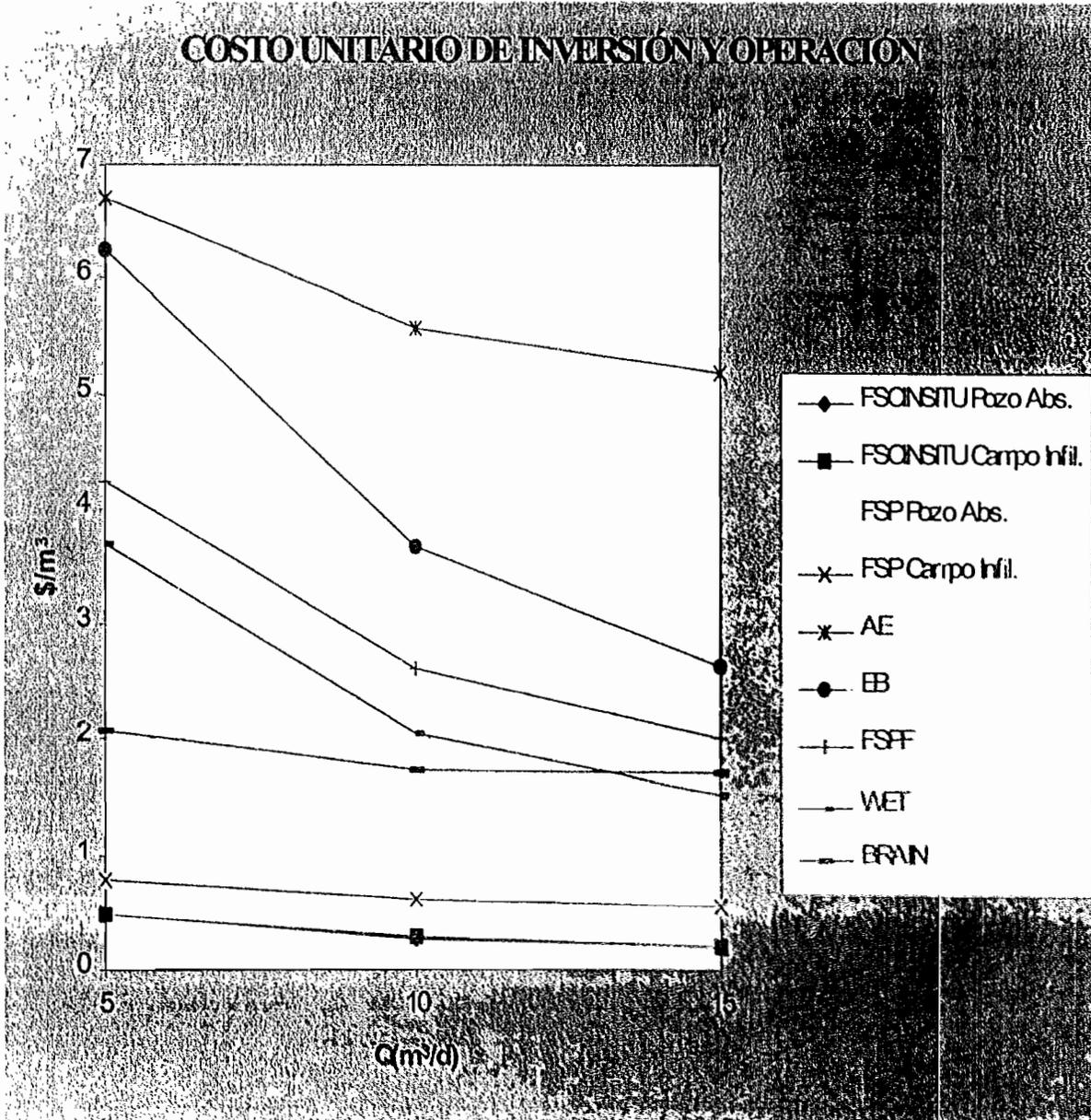


FIGURA 6.4 COSTOS UNITARIOS POR INVERSIÓN Y OPERACIÓN EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA.

## CONCLUSIONES

Con base en el análisis de la información presentada en el presente estudio, se establecen las siguientes conclusiones:

- El sistema de tratamiento "*in situ*" que se seleccione se debe adaptar a las necesidades del usuario tanto de tipo técnico (terreno disponible, tipo de terreno, calidad del influente), como económico. No existe un sistema de tratamiento más eficaz que otro, sino que cada uno de ellos está destinado a satisfacer necesidades específicas de tratamiento.
- De la selección y análisis de diversos sistemas de tratamiento existentes en el mercado, obteniendo que los sistemas elegidos cumplieran con la norma vigente, aunque algunos con restricciones, como es el caso de la fosa séptica, que por sí sola no provee de una calidad adecuada, por lo cual es necesario contar con un método para el pulimento del efluente, convirtiéndose entonces en una alternativa adecuada para el tratamiento "*in situ*" a bajo costo.
- Durante la evaluación económica se encontró que el sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias "*in situ*", Bioreactor Anaerobio Integrado, presenta costos de inversión accesibles, y su costo total de tratamiento es más bajo de los que cumplen con la NOM-001-ECOL-1996. Se puede considerar que también técnicamente es un sistema adecuado, por lo cual representa un buena opción de tratamiento. Una cuestión que es importante resaltar, es que el sistema facilita el reuso del agua tratada, ya que como existe desinfección del efluente.
- En este sentido, la Planta de tratamiento filtro sumergido de película fija, también cuenta con características de costo accesibles, al igual que el sistema de planta de tratamiento con filtro de lecho de raíces (wetland); entre los aspectos a considerar para el primer sistema, se tiene el inconveniente de que su costo por requerimientos energéticos es bastante elevado, lo cual incrementaría el costo de la planta de tratamiento a lo largo de su vida útil. En cuanto al Wetland, éste no requiere de energía eléctrica, pero su principal desventaja es que es un sistema extensivo, por lo cual requiere de una superficie importante, e inclusive, en caso de que no se le dé un adecuado mantenimiento, puede generar problemas de malos olores y presencia de insectos.
- Un aspecto que se debe tomar en cuenta es la importancia que tiene en la actualidad la reutilización del agua tratada, por lo cual es importante elegir un sistema que facilite esta acción, ya que redundará en beneficios para todos los usuarios. En el presente trabajo, se obtuvo que los únicos sistemas que no facilitan esta actividad son las fosas sépticas (construídas en sitio y prefabricadas).

- Finalmente, es necesario concientizar a la población (sobre todo en zonas rurales) de la gran crisis hídrica por la que pasa el país, al igual que instruirla acerca de las grandes ventajas que ofrece el empleo de sistemas de tratamiento "*in situ*", sobre todo porque son sistemas que facilitan el reuso y por ende facilitan el ahorro de agua. Además el uso de sistemas de tratamiento proveen un medio para la protección de la salud y del medio.

## BIBLIOGRAFÍA

ANTEPROYECTO DE NORMA PARA FOSA SÉPTICA (1996). México.

AWWA. (1968). AGUA, SU CALIDAD Y TRATAMIENTO. México. 564 pp.

Babbitt, Harold E. (1962) ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS. Compañía Editorial Continental. México. 881 pp.

Baca Urbina, Gabriel.(1995) EVALUACIÓN DE PROYECTOS. Editorial Mc Graw-Hill 3ª edición. México. 339 pp.

Canter, Larry W. y Knox, Robert C (1985). SEPTIC TANK SYSTEM EFFECTS ON GROUND WATER QUALITY. Lewis Publishers, INC. U.S.A.. 336 pp.

De Castilla Juárez Heredia, Isabel. (1995) TESIS. REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS Facultad de Ingeniería. México. 198 pp.

DESECHOS. CARTILLA DE SANEAMIENTO. (1971) Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria (CCIS). México. 90 pp.

DESIGN AND OPERATION OF SMALL WASTEWATER TREATMENT PLANTS. WATER SCIENCE & TECHNOLOGY. (1993) IAWQ. Volume 28. Number 10... 395 pp.

DESIGN OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS (1992) Wolman, R. W. ASCE, WWT USA, 1592 pp.

DIARIO OFICIAL. PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996 (1996) Junio.

EPA. PROCESS DESIGN MANUAL WASTEWATER TREATMENT FACILITIES FOR SEMI-URBAN SMALL COMMUNITIES. (1977) USA.

González Martínez, Simón y Elías Castro, José G. (1989) DISEÑO DE BIODISCOS Instituto de Ingeniería UNAM. No. 520. 120 pp.

Horan, N.J.(1991) BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS (1991) Elsevier. 330 pp.

Imhoff, Karl.(1944) MANUAL DE SANEAMIENTO URBANO Ed. Ingeniería Obras Sanitarias de la Nación Buenos Aires. 263 pp.

Jiménez Cisneros, Blanca et al (1990) ESTUDIO DE LA POSIBILIDAD DE REUSO DEL AGUA TRATADA A NIVEL NACIONAL. Tomo II Instituto de Ingeniería México. 114 pp.

Lara González, José Luis.(1991) ALCANTARILLADO UNAM. F.I. DICT y G. Depto. de Ingeniería Sanitaria. México. 330 pp.

Luna Alanís, José Luis.(1996) TESIS EVALUACIÓN ECONÓMICO-FINANCIERA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS MEDIANTE EL USO DE LA INFORMÁTICA ODESA. México. 80 pp.

MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS (1986). Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York.

Metcalf & Eddy.(1985) INGENIERÍA SANITARIA. REDES DE ALCANTARILLADO Y BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES. Editorial Labor. España. 446 pp.

Metcalf & Eddy (1991). WASTEWATER ENGINEERING, TREATMENT, DISPOSAL AND REUSE. Editorial Mc Graw-Hill. Singapore. 3ª edición. 1334 pp.

Middlebrooks, E. Joe (1982). WATER REUSE. Ann Arbor Science. USA. 851 pp.

Murguía Vaca, Ernesto (1985). EVALUACIÓN, EFECTOS Y SOLUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. México. 167 pp.

NORMAS DE PROYECTO PARA OBRAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN LOCALIDADES URBANAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA. (1993). Facultad de Ingeniería, UNAM. DICTyG. México, 87 pp.

PROMOTION DE LA SANTÉ. MINISTÈRE DE LA SANTÉ. Document technique No. 1. Paris.

PROYECTO TIPO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COMUNIDADES RURALES Y ZONAS MARGINADAS. (1990) Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México. 133 pp.

Ramalho, R.S. (1991) TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Editorial Reverté. España. 705 pp.

Sámamo Castillo, José S.(1993) Facultad de Química TESIS. ESTUDIO COMPARATIVO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA EN CONJUNTOS HABITACIONALES. México. 154 pp.

Schulz C.R. y Okun D.A. (1990) TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES PARA PAÍSES EN DESARROLLO. Editorial Limusa.

SEGUNDO MINISIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS Y SUELOS. (1995) Instituto de Ingeniería. UNAM. México. 167 pp.

SITUACIÓN DEL SUBSECTOR AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO A DICIEMBRE DE 1995. (1995) CNA

SMALL WASTEWATER TREATMENT PLANTS. (1990) IAWPRC. Volume 22. Numbers ¼. 353 pp.

Suárez Salazar, Carlos (1994). COSTO Y TIEMPO EN EDIFICACIÓN. Editorial Limusa. 3ª edición. México. 451 pp.

TALLER SOBRE CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS OBLIGATORIAS DEL SECTOR AGUA NOM-CNA 1996. (1996) CNA.

Tebbutt, T.H.Y. (1994) FUNDAMENTOS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA. Editorial Limusa. México. 239 pp.

TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES EN AMÉRICA LATINA. CONFERENCIAS. (1990) Instituto de Ingeniería, UAM, SEDUE, CONACYT, ORSTOM, ICAITI. México.

*TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS DEL AGUA*. (1992) .C. Tecnología del Agua. Terrassa-Barcelona.

Winkler, Michael A. (1986) *TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS DE DESECHO*. Editorial Limusa. México.