

139
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:
ESTUDIO COMPARATIVO DE LA FACTIBILIDAD
TECNICO - ECONOMICA EN CONJUNTOS HABITACIONALES**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A
JOSE SABINO SAMANO CASTILLO



MEXICO, D.F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

RESUMEN

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

INTRODUCCION

1.	PROBLEMATICA ACTUAL EN MEXICO	1
1.1	Fuentes de contaminación	3
1.2	Solución a la problemática	5
1.3	Marco Legal	9
1.4	Aplicación de las Condiciones Particulares de Descarga	13
2.	CASO DE ESTUDIO: UNIDADES HABITACIONALES DEL INFONAVIT	18
2.1	Introducción	18
2.2	Procedimiento	19
2.3	Análisis de las principales fallas encontradas en las plantas de tratamiento de agua residual inspeccionadas	20
	2.3.1 Aspectos técnicos	26
	2.3.2 Aspectos administrativos	27
	2.3.3 Organismos operadores	28

3.	CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	31
3.1	Definición de diferentes tipos de aguas negras	31
3.2	Caracterización de las aguas residuales domésticas	32
	3.2.1 Características físicas	34
	3.2.2 Características químicas	38
	3.2.3 Características biológicas	44
3.3	Composición del agua residual	44
4.	SELECCION DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO	46
4.1	Clasificación de métodos de tratamiento	46
4.2	Diagramas de flujo de los procesos de tratamiento	47
4.3	Selección del proceso por remoción de contaminantes	48
	4.3.1 Remoción de sólidos suspendidos y sedimentables	49
	4.3.2 Remoción de orgánicos biodegradables	52
	4.3.3 Remoción de nutrientes	54
	4.3.4 Remoción de patógenos	55
	4.3.5 Tratamiento de lodo	56
4.4	Factores que influyen en la selección de un tren de tratamiento	56
5.	FACTIBILIDAD TECNICA DE LOS PROCESOS SELECCIONADOS	59
5.1	Trenes de tratamiento de los procesos preseleccionados	60
	5.1.1 Aireación extendida	66
	5.1.2 Discos biológicos rotatorios	66
	5.1.3 UASB-filtro percolador	67
	5.1.4 Reactor UASB	68
5.2	Resultados de la factibilidad técnica	68

6.	FACTIBILIDAD ECONOMICA DE LOS PROCESOS SELECCIONADOS	88
6.1	Estudio de preinversión de un sistema de tratamiento de aguas residuales	90
6.2	Costos de inversión	93
	6.2.1 Obra civil	94
	6.2.2 Equipamiento	101
6.3	Costos de operación y mantenimiento	109
	6.3.1 Compuestos químicos	110
	6.3.2 Energía	114
	6.3.3 Personal	122
6.4	Reuso del agua como incentivo económico	134
7.	CONCLUSIONES	137
	BIBLIOGRAFIA	138
	ANEXO 1	142
	ANEXO 2	148

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1	RESUMEN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO INVENTARIADOS (RESUMEN POR PROCESO).	7
TABLA 1.2	INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (RESUMEN POR ESTADO).	8
TABLA 1.3	CONDICIONES DE CALIDAD DE LA DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A ALCANTARILLADO.	14
TABLA 1.4	CONDICIONES DE CALIDAD DE LA DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A ALCANTARILLADO, EMISORES O RIEGO AGRICOLA.	16
TABLA 1.5	CONDICIONES DE CALIDAD DE LA DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA REUSO QUE INVOLUCRE RIESGO DE CONTACTO.	17
TABLA 2.1	ESTADO ACTUAL DE OPERACION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO INSPECCIONADOS.	22
TABLA 3.1	CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.	33
TABLA 3.2	COMPOSICION PROMEDIO DE UN AGUA RESIDUAL DOMESTICA.	45
TABLA 4.1	OPERACIONES DE PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO USADOS PARA REMOVER LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES PRESENTES EN UN AGUA RESIDUAL MUNICIPAL.	51
TABLA 4.2	COMPARACION CUALITATIVA DE DESINFECTANTES.	55
TABLA 4.3	FACTORES A CONSIDERAR PARA LA SELECCION Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO.	57

TABLA 5.1	DISTINTAS MODALIDADES DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRESELECCIONADOS.	60
TABLA 5.2	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS EN SU MODALIDAD DE AIREACION EXTENDIDA.	71
TABLA 5.3	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS.	75
TABLA 5.4	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO ACOPLADO ANAEROBIO-AEROBIO (REACTOR UASB-FILTRO PERCOLADOR).	80
TABLA 5.5	FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DEL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE, (UASB).	84
TABLA 5.6	CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, (800 M ³ /D).	87
TABLA 6.1	INDICES DE COSTOS DE CONSTRUCCION Y OPERACION/MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SEGUN LA AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS, (EPA).	92
TABLA 6.2	VOLUMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AL REACTOR UASB, PARA DIFERENTES CAUDALES.	95
TABLA 6.3	VOLUMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION A LOS DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS, PARA DIFERENTES CAUDALES.	96
TABLA 6.4	VOLUMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AIREACION EXTENDIDA, PARA DIFERENTES CAUDALES.	97

TABLA 6.5	VOLUMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION REACTOR UASB-FILTRO PERCOLADOR, PARA DIFERENTES CAUDALES.	98
TABLA 6.6	COSTO DEL EQUIPAMIENTO MINIMO REQUERIDO PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AL REACTOR UASB, PARA DIFERENTES CAUDALES.	101
TABLA 6.7	COSTO DEL EQUIPAMIENTO MINIMO REQUERIDO PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS, PARA DIFERENTES CAUDALES.	102
TABLA 6.8	COSTO DEL EQUIPAMIENTO MINIMO REQUERIDO PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AIREACION EXTENDIDA, PARA DIFERENTES CAUDALES.	103
TABLA 6.9	COSTO DEL EQUIPAMIENTO MINIMO REQUERIDO PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AL REACTOR UASB-FILTRO PERCOLADOR, PARA DIFERENTES CAUDALES.	104
TABLA 6.10	COSTO DE INVERSION POR OBRA CIVIL Y EQUIPAMIENTO DE LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAUDALES.	105
TABLA 6.11	COSTOS UNITARIOS POR INVERSION INICIAL.	107
TABLA 6.12	DOSIFICACION DE CLORO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS.	110
TABLA 6.13	REQUERIMIENTOS DE HIPOCLORITO DE SODIO (NaOCl) AL 10% EN PESO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, A DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA.	111
TABLA 6.14	COSTOS UNITARIOS POR DESINFECCION (HIPOCLORITO DE SODIO AL 10% EN PESO).	113
TABLA 6.15	REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO DEL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO	

	DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE, (UASB).	115
TABLA 6.16	REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO DE DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS.	116
TABLA 6.17	REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO DE AIREACION EXTENDIDA.	117
TABLA 6.18	REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO ANAEROBIO-AEROBIO (UASB-FILTRO PERCOLADOR).	118
TABLA 6.19	COSTOS ENERGETICOS UNITARIOS EN FUNCION DE LA CAPACIDAD.	119
TABLA 6.20	PLANTILLA DE PERSONAL PARA UN SISTEMA DADO PARA CAPACIDADES DIARIAS PROMEDIO.	124
TABLA 6.21	COSTOS DE REQUERIMIENTOS DE PERSONAL (INCLUYE EL 20% POR CONCEPTO DE PRESTACIONES), A CAPACIDADES DE PLANTA DE HASTA 2,400 M ³ /D.	125
TABLA 6.22	REQUERIMIENTOS DE CANTIDAD DE PERSONAL PARA AIREACION EXTENDIDA, EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA.	126
TABLA 6.23	CANTIDAD DE SALARIOS MINIMOS REQUERIDOS PARA EL PERSONAL DE UN SISTEMA DE AIREACION EXTENDIDA.	127
TABLA 6.24	COSTOS DE REQUERIMIENTOS DE PERSONAL, PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AIREACION EXTENDIDA, A CAPACIDADES DE PLANTA DE 160 A 2,400 M ³ /D.	128
TABLA 6.25	COSTOS UNITARIOS REQUERIMIENTOS DE PERSONAL EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA.	130
TABLA 6.26	COSTOS UNITARIOS (N\$/M ³ DE AGUA TRATADA) POR INVERSION Y OPERACION.	132
TABLA 6.27	CONSUMO MEDIO DE AGUA EN LITROS/PERSONA/DIA.	135

LISTA DE FIGURAS

FIG 1.1	BALANCE HIDRAULICO PARA LA REPUBLICA MEXICANA.	2
FIG 2.1	NUMERO Y TIPO DE PLANTAS EXAMINADAS EN 4 DELEGACIONES ESTATALES DEL INFONAVIT.	21
FIG 2.2	ESTADO ACTUAL DE OPERACION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.	24
FIG 2.3	SITIOS DE DESCARGA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.	25
FIG 5.1	MODALIDADES DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.	62
FIG 5.2	PRINCIPALES VARIANTES DEL PROCESO DE DISCOS BIOLOGICOS.	63
FIG 5.3	PRINCIPALES VARIANTES DEL PROCESO DE FILTRO PERCOLADOR.	64
FIG 5.4	TREN DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE AIREACION EXTENDIDA.	70
FIG 5.5	TREN DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE DISCOS BIOLOGICOS.	74
FIG 5.6	TREN DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA ACOPLADO ANAEROBIO-AEROBIO (UASB-FILTRO PERCOLADOR).	79
FIG 5.7	TREN DE TRATAMIENTO DEL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS, (UASB).	83
FIG 6.1	VOLUMENES DE OBRA CIVIL (M^3 DE CONCRETO ARMADO) PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M^3/D).	99

FIG 6.2	COSTO POR OBRA CIVIL (NS) PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M ³ /D).	100
FIG 6.3	COSTO DE INVERSION (NS), POR OBRA CIVIL Y EQUIPAMIENTO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M ³ /D).	106
FIG 6.4	COSTO UNITARIO (NS/M ³ DE AGUA TRATADA), POR COSTO DE INVERSION PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M ³ /D).	108
FIG 6.5	DOSIS DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 10% EN PESO (L DE NaOCI/HR), PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M ³ /D).	112
FIG 6.6	COSTOS ENERGETICOS ANUALES (NS/AÑO), PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M ³ /D).	120
FIG 6.7	COSTO UNITARIO (NS/M ³ DE AGUA TRATADA), POR REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M ³ /D).	121
FIG 6.8	COSTO DE PERSONAL (NS/AÑO), PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA (M ³ /D).	129
FIG 6.9	COSTO UNITARIO (NS/M ³ DE AGUA TRATADA), POR REQUERIMIENTOS DE PERSONAL PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M ³ /D).	131
FIG 6.10	COSTO UNITARIO (NS/M ³ DE AGUA TRATADA), INCLUYE COSTOS DE INVERSION Y OPERACION.	133

RESUMEN

El objeto del presente estudio se desprende de la necesidad de identificar las fallas que afectan la operación de las plantas de tratamiento instaladas en conjuntos habitacionales del INFONAVIT. Encontrando que las principales causas que originan dichas fallas son de carácter técnico, asociadas a la inadecuada selección de la tecnología y administrativo, relacionado con la carencia de recursos económicos y de organización.

En la resolución de la parte técnica, se realiza una selección del proceso, previa caracterización del agua residual doméstica, por remoción de contaminantes; de acuerdo a la relación entre el tipo de contaminante y los procesos más aplicados y conocidos para pequeñas poblaciones (1,000 a 15,000 habitantes). De entre los procesos seleccionados: lodos activados en su modalidad de aireación extendida (AE), discos biológicos rotatorios (DBR), filtro percolador y reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB), se proponen trenes de tratamiento que incluyen en su configuración los procesos anteriores o combinaciones de ellos, UASB-filtro percolador (U-FP); 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.

Con el fin de lograr la máxima economía, 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 sirva como guía general en la selección de procesos. Así mismo, se presentan gráficas de costos unitarios ($\text{N\$/m}^3$ de agua tratada), por los conceptos indicados y conocer como impactan en el costo total.

Finalmente, de las opciones de tratamiento, el sistema acoplado anaerobio-aerobio (UASB-filtro percolador), es el sistema que presenta el menor costo de inversión, operación y mantenimiento, y técnicamente se adapta a las características de los conjuntos habitacionales, resultando la mejor alternativa de tratamiento.

INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales más importantes del mundo, ya que sin ella no podría existir la vida. El deterioro de la calidad del agua de ríos, acuíferos, embalses y zonas costeras, originado por la descarga sin tratamiento adecuado de las aguas residuales, limita las oportunidades de aprovechamiento del recurso y provocan la contaminación y degradación de otros recursos naturales.

El establecimiento y desarrollo de las comunidades, las cuales generan una gran cantidad de desechos líquidos y sólidos, contribuyen fuertemente a la contaminación del medio ambiente. La solución para este problema era simplemente esperar a que el medio natural degradara la contaminación. En la actualidad, debido a que la población ha crecido con rapidez, causa de la alta concentración de la economía, se deben de tomar medidas para proteger y aumentar el abastecimiento de agua y eliminar satisfactoriamente los desechos. Con este fin, se han diseñado y construido unidades de tratamiento destinadas a eliminar los contaminantes del agua residual. Una de las ventajas del tratamiento de ésta, es el reuso con diversos fines, entre ellos, disminuir la cantidad de agua potable destinada a los centros urbanos, a las actividades de riego agrícola o bien, ser desalojadas al medio ambiente sin alterar el sistema ecológico.

De las aguas residuales municipales generadas, que alcanzan en el país los 160 m³/s, solamente el 10% recibe el tratamiento adecuado, ya que la capacidad instalada de 30 m³/s, en 361 plantas de tratamiento, sólo el 40% opera eficientemente.

Lo anterior, muestra la necesidad de proponer procesos adecuados para tratar el agua residual generada en concentraciones humanas, por ejemplo, conjuntos habitacionales. De esta forma, el presente estudio presenta trenes de tratamiento de aguas residuales domésticas adaptados a sus necesidades, con base en su selección técnico-económica.

Se analizan la problemática actual y normatividad vigente en el control y la prevención del agua, que sirven como puntos de referencia para justificar la necesidad del tratamiento. Así mismo, se revisan las principales características de las aguas residuales de origen doméstico para preseleccionar, previa revisión de los procesos existentes, el sistema de tratamiento adecuado para unidades habitacionales, es decir, aquel que tenga un mínimo grado de complejidad y que sea económico, fundamentalmente en su operación y mantenimiento.

Posteriormente, se analizan los resultados de las visitas realizadas a las plantas de tratamiento de aguas residuales de los conjuntos habitacionales del INFONAVIT (caso de estudio), en los estados de Veracruz, Guerrero, Puebla y Morelos.

Finalmente, con la información bibliográfica y de campo se realiza una selección del proceso de tratamiento óptimo, basado en la comparación técnico-económica de los cuatro trenes de tratamiento preseleccionados.

1. PROBLEMATICA ACTUAL EN MEXICO

El acelerado crecimiento demográfico de México en las últimas décadas, ha propiciado una disminución en la disponibilidad de agua en las zonas más pobladas y una creciente contaminación de los cuerpos hídricos susceptibles de servir como fuentes de abastecimiento.

Aunque el país cuenta con suficientes volúmenes para satisfacer las demandas de todos los sectores, la distribución geográfica es completamente adversa para casi toda la mitad del territorio nacional. Este está dividido en 320 cuencas hidrológicas, con un escurrimiento medio anual de aproximadamente 410 000 millones de m³ en promedio, cifra que representa el total disponible como recurso renovable. No obstante, la zona norte sólo tiene un escurrimiento de 12 300 millones de m³, 3% del global en un área equivalente al 30% del país, y en el sureste hay 205 000 millones de m³, es decir el 50% de la disponibilidad para un 20% del territorio (FIG 1.1).

De los usos del recurso hidráulico, el doméstico es prioritario y su abasto va de acuerdo con la importancia política, económica y grado de desarrollo de la población. En las localidades menores de 5 000 habitantes la dotación es la necesaria para satisfacer las necesidades primarias de la población, mientras que en las grandes urbes se deben satisfacer usos públicos, domésticos, industriales y comerciales.

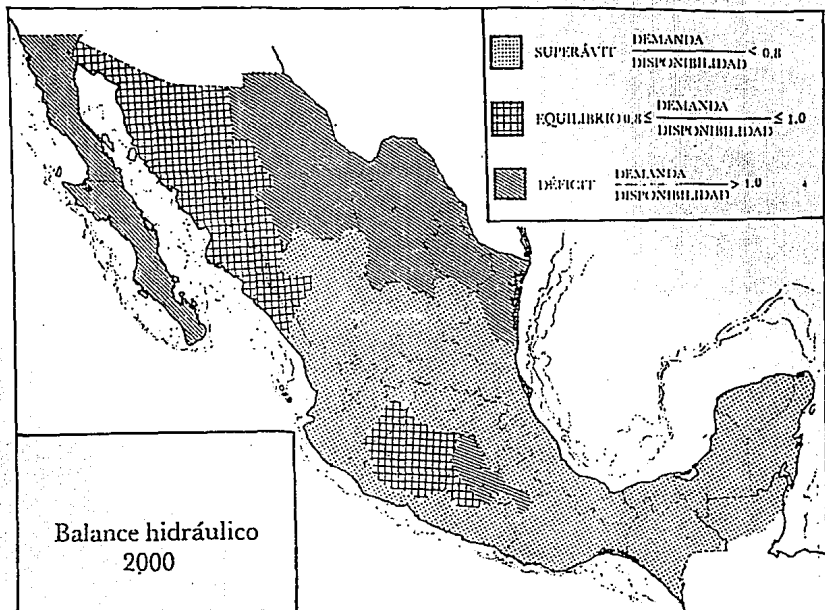


FIGURA 1.1 BALANCE HIDRAULICO PARA LA REPUBLICA MEXICANA.
TOMADO DE: HARO GARCIA, 1992

Por otra parte, en la agricultura se ha optado mayormente por el uso de aguas residuales en aquellas zonas que presentan escasez de agua de primer uso; actualmente se riegan del orden de 350 mil hectáreas con aguas residuales crudas o mezcladas con aguas claras.

1.1 Fuentes de contaminación.

El término "contaminar" puede ser definido como "destruir la pureza de algo", "ensuciar", o "modificar las concentraciones de los constituyentes del medio ambiente". Por lo tanto, la contaminación del agua se define como la alteración de las características de un cuerpo de agua, de manera que este deje de ser adecuado para uno o más usos específicos.

Básicamente las fuentes de contaminación del agua se pueden clasificar en tres grupos: municipal, industrial y agropecuaria.

Los grandes polos de desarrollo demandan cantidades cada vez mayores de agua; también ellos son los que aportan más contaminantes, al descargar sus aguas residuales (municipales e industriales) en los cuerpos receptores, muchas veces sin tratamiento alguno.

En 1991, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), Monterrey y Guadalajara generaban 46, 8.5 y 8.2 m³/s de aguas residuales respectivamente, lo que corresponde al 34% del total a nivel nacional, estimado en 184 m³/s, de los cuales 105 los producía la población y 79 la industria.

Para 1992, se estimó que la descarga total de aguas residuales municipales e industriales ascendía aproximadamente a 200 m³/s. De estos, el 40% proviene del sector industrial, es decir del orden de 80 m³/s, caudal que constituye el efluente más contaminante y heterogéneo en la medida que proviene de diversas actividades de extracción y transformación de recursos naturales; entre éstas destacan por su importancia volumétrica y grado de contaminación: la industria azucarera, la industria química, la producción de celulosa y papel, la industria petrolera, la producción de bebida, alimentos y textiles y la industria siderúrgica.

Debido a que el sector industrial, utiliza agua en procesos de elaboración, transformación y en ocasiones de enfriamiento, es difícil precisar la cantidad requerida para producir un producto. En términos globales, el volumen anual ocupado en 1980 fue de 4 600 millones de m³. Para 1990, la cifra se incrementó a 9 500 millones de m³ y se estima que para el año 2000, calculado a partir de proyecciones del crecimiento de la demanda de productos y el volumen requerido para no afectar la tasa de desarrollo general, el consumo ascienda a 22 700 millones de m³.

Con respecto al sector agropecuario, se estimaba un consumo del 82% del agua aplicada, cantidad que generó en 1991, 8 345 millones de m³ de aguas residuales y para el año 2000, se calculan, 11 085 millones de m³ (Fuad y Gidi, 1991).

Como resultado de que la mayoría de las descargas de estos sectores no reciben ningún tipo de tratamiento previo, los ríos, lagos, lagunas, acuíferos y aguas marinas que constituyen los depósitos de tales efluentes, se encuentran contaminados. Este proceso acumulativo de contaminación, ha dado como resultado la degradación total o parcial de diversos cuerpos de agua susceptibles de aprovecharse para el desarrollo social y económico del país. Entre las corrientes más contaminadas del país se encuentran la cuenca del río Lerma-Chapala, la cuenca del río San Juan, así como las

cuencas de los ríos Balsas, Blanco, Pánuco, Nazas y Bravo (Haro García, 1992).

Los contaminantes biológicos que contienen dichas descargas pueden causar enfermedades infecciosas, sobre todo en el aparato gastrointestinal; los químicos pueden provocar cuadros de toxicidad aguda, afecciones neurológicas y padecimientos cardiovasculares, cáncer, entre otros; en consecuencia, las aguas de estos cauces y vasos son prácticamente inutilizables para uso doméstico, y en ocasiones su tratamiento para uso industrial o comercial significaría costosas e inconvenientes inversiones.

1.2 Solución a la problemática.

Con la finalidad de proteger los recursos hídricos de las descargas de aguas residuales, se han diseñado y construido unidades de tratamiento destinadas a eliminar los contaminantes del agua residual. Una de las ventajas adicionales del tratamiento, es el reuso con diversos fines, ya que con ellos se puede disminuir la cantidad de agua potable destinada a los centros urbanos e industriales y a las actividades de riego agrícola.

El Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento elaborado con ayuda del banco de información de la Comisión Nacional del Agua (CNA), reportó que en marzo de 1992 existían 83 proyectos en realización para el tratamiento de aguas residuales, para un gasto de 31.5 m³/s; 36 plantas en construcción para un gasto de 6.4 m³/s y 458 plantas construidas con una capacidad de tratamiento de 26.9 m³/s. De éstas operan con distintos niveles de eficiencia, 289 (el 63% de las construidas) y tratan 22.1 m³/s (el 82% de la capacidad instalada), y 116 (40% de las que operan) requieren rehabilitación; 93 plantas no operan y de 76 se desconoce su estado de operación.

Se ha estimado que actualmente se evacúan, a través de un sistema de alcantarillado formal, 125 m³/s de aguas residuales de origen municipal y de este caudal se trata el 18% (22.1 m³/s); correspondiendo un 4% (4.6 m³/s) a obras con fines de reuso y un 14% (17.5 m³/s) a obras de saneamiento.

De los sistemas en operación, 159 son lagunas de estabilización y tratan 5.8 m³/s (26%); 79 son plantas de lodos activados que tratan 9.4 m³/s (43%), y 51 plantas con distinto proceso que tratan el caudal restante (31%). Con respecto a los proyectos a futuro (TABLA 1.1), estos se encaminan a diseñar, además de las lagunas de estabilización, procesos de filtro biológico y lodos activados en su modalidad de aireación extendida (Flores, 1992).

Con las obras en construcción, se incrementará la capacidad de tratamiento en un 5% y con las obras en proyecto un 25%; este 30% está considerado en el Programa Nacional de Saneamiento (TABLA 1.2).

Sin embargo, los esfuerzos realizados en materia de protección y tratamiento del agua no cumplirán satisfactoriamente sus objetivos, a menos de que se cree una nueva cultura del agua, como modelo educativo de la población. La educación ambiental en nuestro país es relativamente nueva en los sistemas formales de enseñanza. Los nuevos libros de texto del nivel básico incluyen el tema ambiental, sin embargo, es necesario reforzar sus contenidos y ampliar su cobertura para que las nuevas generaciones incorporen en su formación una actitud de respeto hacia la naturaleza. La educación ambiental debe contar con programas adecuados destinados a modificar en la población, los hábitos y conductas que afectan al medio ambiente, por ello, es imprescindible involucrar a los medios de comunicación y a los distintos sectores de la producción, para realizar campañas continuas de sensibilización y diseñar nuevos modelos de consumo que no impacten negativamente el entorno.

TABLA 1.1 RESUMEN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO INVENTARIADOS (RESUMEN POR PROCESO).

PROCESO	PROYECTO		CONSTRUCCION		OPERACION							TOTAL	
	No.	Q(lps)	No.	Q(lps)	SI	RR	Q(lps)	NO	RR	Q(lps)	?		Q(lps)
REACCION A CONTRACORRIENTE	1	100.0	1	500.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0.0	2
REACCION EXTENDIDA	4	9000.0	1	30.0	2	0	30.0	0	0	0.0	0	0.0	7
AVANZADO	0	0.0	0	0.0	3	0	125.0	0	0	0.0	0	0.0	3
DISCOS BIOLOGICOS	1	200.0	2	100.0	1	0	2.0	1	0	2.0	0	0.0	5
FILTROS BIOLOGICOS	9	4055.0	4	1555.0	7	1	1756.0	4	4	490.0	0	0.0	24
COLOS ACTIVADOS	2	300.0	1	30.0	79	17	9417.0	31	16	1185.3	20	341.0	133
LAGUNAS AERADAS	0	0.0	1	1200.0	9	6	2349.0	0	0	0.0	3	56.0	13
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	38	5629.5	24	476.3	159	70	5706.9	45	25	590.6	39	1362.0	305
RAFÁ	0	0.0	1	2000.0	2	1	50.5	1	0	10.0	0	0.0	4
TANQUE IMHOFF	0	0.0	0	0.0	10	6	672.0	5	4	140.0	7	127.0	22
TRATAMIENTO PRIMARIO	0	0.0	1	540.0	3	2	850.0	3	3	153.0	3	218.0	10
TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO	0	0.0	0	0.0	1	0	500.0	0	0	0.0	0	0.0	1
CAJAS DE DEICACION	2	3500.0	0	0.0	9	4	402.0	2	0	45.0	2	41.5	15
DESCONOCIDO	26	8720.0	0	0.0	4	1	143.0	1	0	8.0	2	16.5	33
TOTAL	83	31504.5	36	6431.3	289	116	22093.4	95	52	2621.9	76	2162.0	577

RR = Requieren o están en rehabilitación

Fuente: Gerencia de Potabilización y Tratamiento del Agua - SGIMU - Cua

TOMADO DE: FLORES, 1992

TABLA 1.2 INVENTARIO NACIONAL DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (RESUMEN POR ESTADO).

ESTADO	PROYECTO		CONSTRUCCION		OPERACION								TOTAL
	No.	Q(1ps)	No.	Q(1ps)	SI	RR	Q(1ps)	NO	RR	Q(1ps)	?	Q(1ps)	
AGUASCALIENTES	1	2000.0	0	0.0	29	2	124.5	7	0	94.0	0	0.0	37
BAJA CALIFORNIA N	1	500.0	0	0.0	7	5	2945.0	2	2	120.0	0	0.0	10
BAJA CALIFORNIA S	0	0.0	0	0.0	13	11	528.5	7	3	300.0	0	0.0	20
CAMPECHE	0	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0.0	0
COAHUILA	2	715.0	0	0.0	4	4	733.0	1	1	50.0	0	0.0	7
COLIMA	1	15.0	0	0.0	1	0	215.0	1	1	50.0	11	122.3	14
CHIASPAS	0	0.0	0	0.0	0	0	0.0	1	1	330.0	0	0.0	1
CHIHUAHUA	2	330.0	0	0.0	2	1	105.0	1	0	15.0	0	0.0	5
DISTRITO FEDERAL	0	0.0	0	0.0	17	0	3428.0	0	0	0.0	0	0.0	17
DURANGO	1	100.0	1	1200.0	9	0	270.7	1	0	0.0	8	706.0	20
GUANAJUATO	6	3496.0	3	765.0	0	0	0.0	0	0	0.0	5	120.0	14
GUERRERO	3	1125.0	0	0.0	9	3	1006.0	3	0	80.0	1	50.0	16
HIDALGO	1	10.0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	4	131.0	5
JALISCO	1	1000.0	1	40.0	20	13	1678.0	0	0	0.0	22	460.0	44
MEXICO	12	3215.0	10	655.0	15	3	2700.0	3	2	37.0	3	124.0	43
MICHOACAN	7	1112.0	2	265.0	2	0	60.0	4	3	853.0	2	40.0	17
MORELOS	1	80.0	1	170.0	1	0	200.0	0	0	0.0	7	63.2	10
NAYARIT	12	40.0	5	566.0	21	21	244.5	5	5	19.0	0	0.0	43
NUevo LEON	4	8050.0	0	0.0	42	17	1891.5	2	1	0.0	2	31.5	50
OAXACA	0	0.0	1	60.0	7	0	175.0	3	3	81.0	0	0.0	11
PUEBLA	1	162.0	0	0.0	0	0	0.0	1	0	50.0	4	51.0	6
QUERETARO	1	590.0	1	500.0	5	1	259.0	1	0	8.0	0	0.0	8
QUINTANA ROO	3	500.0	2	60.0	8	3	410.0	5	1	82.0	0	0.0	18
SAN LUIS POTOSI	1	800.0	0	0.0	3	0	70.0	7	6	56.0	0	0.0	11
SINALOA	9	3880.0	0	0.0	8	6	896.0	3	2	55.0	1	80.0	21
SONORA	7	1504.5	3	43.8	28	11	892.8	16	8	163.6	2	29.0	56
TABASCO	0	0.0	4	46.5	2	0	505.0	0	0	0.0	0	0.0	6
TAMAULIPAS	2	2100.0	0	0.0	3	2	721.0	3	3	60.0	0	0.0	8
TLAXCALA	4	180.0	0	0.0	19	13	663.5	10	7	72.0	0	0.0	33
VERACRUZ	0	0.0	1	2000.0	1	0	1200.0	0	0	0.0	4	154.0	6
TUCUMAN	0	0.0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0.0	0
ZACATECAS	0	0.0	1	60.0	13	0	111.5	6	3	46.3	0	0.0	20
TOTAL	83	31504.5	36	6431.3	289	116	22093.4	93	52	2621.9	76	2162.0	577

RR = Requieren o están en rehabilitación

Fuente: Gerencia de Potabilización y Tratamiento del Agua - SGIHUI - CNA

TOMADO DE: FLORES, 1992

1.3 Marco Legal

En materia de legislación, en 1971 el gobierno federal promulgó la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, y adaptó como premisa, de que el crecimiento sostenido sólo puede darse a través de la planeación y el ordenamiento integral de las actividades productivas. Se considera también que la prevención es el medio más eficaz para conservar el equilibrio ecológico, con la participación activa de la sociedad.

Como resultado de esta Ley, y con el propósito de disponer de los instrumentos jurídicos y administrativos para enfrentar los problemas de la contaminación del agua, el 29 de marzo de 1973 se publicó el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, el cual, a pesar de reglamentar una Ley abrogada, se mantiene en vigor por disposición del artículo tercero transitorio de la ley ecológica vigente, en todo lo que no se oponga a la misma.

Debido a la importancia que se ha dado al mejoramiento y preservación del medio ambiente, se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), mediante reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicadas el 29 de diciembre de 1982. Actualmente, el organismo que se hace cargo es la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).

En 1988 entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, la cual abroga la Ley Federal de Protección al Ambiente, promulgada por decreto el 30 de diciembre de 1981 y publicada el 11 de enero de 1982. Esta ley establece las bases de la política ecológica nacional y pone a su disposición no sólo instrumentos diseñados específicamente para su ejecución, sino también aquellos más generales del desarrollo. Entre los primeros, se encuentran el ordenamiento ecológico,

la evaluación del impacto ambiental y las normas técnicas ecológicas; entre los segundos, la planeación, la regulación de las actividades productivas y de servicios, los estímulos fiscales y los financiamientos. Asimismo, faculta a estados y municipios en la prevención y control de las fuentes de contaminación.

Con respecto a la política ecológica, la Ley establece un conjunto de principios que deberán observarse en la formulación de la misma. En lo que representa a los instrumentos para su ejecución, se privilegian los que tienen por objeto prevenir la ocurrencia de situaciones ecológicamente nocivas, con base en la consideración de que, por lo general la eliminación del daño ecológico tiene un costo más alto para la sociedad que su prevención, e incluso, que no siempre esa eliminación es posible.

Los Títulos de mayor relevancia en materia de protección del agua son el Tercero y el Cuarto que comprenden las regulaciones sobre el aprovechamiento racional de los elementos naturales y la protección al ambiente.

En lo referente a la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos, en el Capítulo II del Título Cuarto, se establecen los criterios para prevenir y controlar su contaminación, y se especifican todos aquellos instrumentos y procedimientos en los que las autoridades habrán de aplicar dichos criterios.

También, se establecen en el Artículo 119, las competencias exclusivas de cada dependencia federal en la materia, así como aquellas que serán ejercidas de manera coordinada entre éstas.

Por lo anterior, es función de la Secretaría, expedir en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y las demás autoridades competentes, las normas técnicas para el vertimiento de aguas residuales en redes colectoras, cuencas, cauces,

vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como para infiltrarias en terrenos.

Asimismo, fijar las Condiciones Particulares de Descarga (CPD) cuando se trate de aguas residuales generadas en bienes y zonas de jurisdicción federal y de aquellas vertidas directamente en aguas de propiedad nacional; y, cuando se generen en los sistemas de alcantarillado y se viertan sus aguas residuales en cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de aguas de propiedad nacional, sin observar las *Normas Técnicas Ecológicas*.

Para los efectos de esta Ley, el Artículo 36 de la Sección VI, Capítulo IV, Título Primero señala como **Norma Técnica Ecológica (NTE)**, al "conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría, que establezcan los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente y, además que uniformen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia".

Como respuesta a la aplicación de la Ley de 1988, se decretó la creación de la Comisión Nacional del Agua (CNA) al año siguiente, con el propósito de contar con un organismo coordinador de los esfuerzos del gobierno federal en materia de administración, abastecimiento, preservación y mejoramiento de la calidad del agua.

Aunado a lo anterior y con la finalidad de cubrir los objetivos de prevención y mejoramiento de la calidad del agua, se aprobó la Ley Federal de Derechos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de diciembre de 1990. Esta Ley incluye un derecho por descargas de aguas residuales, cuyo objetivo fundamental es inducir al tratamiento para preservar la calidad del agua de los cuerpos receptores.

Este derecho grava a todas aquellas personas físicas o morales que efectúen, por encima de las concentraciones permisibles, descargas permanentes, intermitentes o fortuitas en bienes del dominio público de la nación; esta hipótesis general se desglosa en tres supuestos:

1) Las descargas que no cumplan los parámetros máximos permisibles de concentración de DQO y SST contenidos en su Norma Técnica Ecológica o sus Condiciones Particulares de Descarga, se gravarán por el volumen descargado y por la concentración de DQO y SST, es decir, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que exceda dichos parámetros.

2) Las descargas que cumplan los parámetros permisibles de las concentraciones de DQO y SST, e incumplan por lo menos uno de los demás parámetros establecidos en su norma técnica ecológica o sus condiciones particulares de descarga, se gravarán con base en el volumen; y,

3) Las descargas realizadas donde no se haya expedido norma técnica ecológica o condiciones particulares de descarga, pero rebasen 300 y 30 mg/L de DQO y SST respectivamente, se gravarán por el volumen descargado y por la concentración de DQO y SST que exceda estos últimos.

Es importante aclarar que la Ley Federal de Derechos no constituye un ordenamiento ecológico ya que no pretende fijar normas de calidad que deban cumplir los efluentes, ni fijar metas de calidad para los cuerpos de agua del país, labor que se deriva de la aplicación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente.

Algunos de los aspectos de mayor interés, vistos en la aplicación de esta Ley, son:

- Confiere a la CNA, a través de sus gerencias estatales, brindar asistencia al contribuyente, tanto en la determinación de los parámetros sujetos a gravamen, como en los procedimientos de cálculo para la determinación del importe del derecho, y las formas, lugares y plazos de pago.
- Los ingresos captados se aplicarán en los programas de la CNA para la prevención y control de la contaminación del agua, entre los cuales destaca la construcción de infraestructura de saneamiento y establecimiento de laboratorios de calidad del agua y redes de monitoreo.

Por último, con las nuevas disposiciones se busca inducir a los responsables de las descargas a que les den el tratamiento adecuado; de hecho, la aplicación de la ley podrá considerarse exitosa en la medida que no sea necesario cobrar estos derechos.

1.4 Aplicación de las Condiciones Particulares de Descarga

Existen dos Normas Técnicas Ecológicas (NTE) que regulan la calidad de las descargas de aguas residuales de tipo doméstico. La NTE-CCA-031/91, establece los límites máximos permisibles de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal provenientes del tratamiento de aguas residuales. En la TABLA 1.3 se señalan los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes contenidos en aguas residuales de tipo doméstico.

La NTE-CCA-032/91, establece los límites máximos permisibles de los contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego

agrícola. Esta NTE regula el contenido de metales, los cuales no son característicos del agua residual doméstica, por lo que podría interpretarse que la Norma faculta el empleo de los efluentes de tipo doméstico con fines de riego.

TABLA 1.3 CONDICIONES DE CALIDAD DE LA DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A ALCANTARILLADO (NTE-CCA-031/91).

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

Fuente: Gaceta Ecológica Volumen 3 No. 17, septiembre del 91

Con apego estricto a estas Normas, las aguas residuales domésticas requieren sólo de un tratamiento primario para cumplir con las condiciones de descarga señaladas. Sin embargo, cuando las autoridades competentes (Federales, Estatales o Municipales), identifiquen descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en las NTE, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que éstas deban cumplir antes de su vertido al cuerpo receptor (NTE-CCA-031/91), o en el bienestar de la población o en el equilibrio ecológico (NTE-CCA-032/91), fijarán Condiciones Particulares de Descarga (CPDS), en las que podrán señalar límites máximos permisibles más estrictos para los parámetros previstos en la propia Norma, además de aquellos que se consideren aplicables a la descarga como pueden ser:

Materia flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno
Demanda Química de Oxígeno
Sólidos disueltos
Sólidos suspendidos
Nitrógeno
Fósforo
Coliformes fecales
Grasas y aceites
Turbiedad
Alcalinidad/acidez

Para el caso específico de conjuntos habitacionales del INFONAVIT, las CPD pueden ser generalizadas para el caso de descargas a redes de alcantarillado, emisores o bien para su disposición en riego agrícola. En la TABLA 1.4 se señalan los límites máximos permisibles para esta condición.

Para minimizar el peligro a la salud que involucra el reuso de las aguas residuales tratadas en actividades que impliquen riesgo de contacto primario, se propone reducir los límites antes considerados. En la TABLA 1.5 se presentan los valores propuestos, que pueden servir de pauta para establecer los requerimientos de descarga para este propósito.

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

TABLA 1.4 CONDICIONES DE CALIDAD DE LA DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A ALCANTARILLADO, EMISORES O RIEGO AGRICOLA. *

PARAMETROS	LIMITES MAX. PERMISIBLES
MATERIA FLOTANTE	NINGUNA
SOLIDOS SEDIMENTABLES	1.0 ml/L
pH	6-9
TEMPERATURA	35°C
GRASAS Y ACEITES	35 mg/L
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, (DBO)	50 mg/L
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	50 mg/L
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, (DQO)	125 mg/L
SAAM	10 mg/L
COLIFORMES FECALES	1000 NMP/100 ml
DOSIFICACION DE CLORO EN LA DESCARGA	2.0 mg/L

* Tomados de las CPD fijadas a los conjuntos habitacionales Bosques del Alba II y Tabla Honda, pertenecientes al INFONAVIT.

TABLA 1.5 CONDICIONES DE CALIDAD DE LA DESCARGA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA REUSO QUE INVOLUCRE RIESGO DE CONTACTO HUMANO.

PARAMETROS	LIMITES MAX. PERMISIBLES
MATERIA FLOTANTE	NINGUNA
SOLIDOS SEDIMENTABLES	0 ml/L
pH	6.5-7.5
TEMPERATURA	35°C
GRASAS Y ACEITES	AUSENCIA
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO, (DBO)	30 mg/L
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	30 mg/L
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO, (DQO)	80 mg/L
SAAM	10 mg/L
COLIFORMES FECALES	200 NMP/100 ml ²

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

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

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) referentes a la protección de la vida acuática (Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre de 1989), establecen que la concentración de nitrógeno amoniacal y fosfatos dentro del cuerpo de agua no debe exceder de 0.06 mg/L y 0.025 mg/L respectivamente. Por ello, en cada caso se definirán las CPD en función del caudal o volumen del cuerpo receptor, el volumen de descarga y la concentración de nutrientes.

La carencia y ambigüedad de las Normas, limita el ejercicio de la autoridad reguladora, por lo que se requiere, considerando el análisis costo-beneficio y el sitio de disposición final o usos del efluente, revisar y corregir las normas de descarga de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

2. CASO DE ESTUDIO: UNIDADES HABITACIONALES DEL INFONAVIT

2.1 Introducción

Uno de los problemas sociales que aquejan a los grandes núcleos urbanos, es la adquisición de vivienda y con el fin de contribuir a su solución, el Gobierno Federal creó como parte de la seguridad social el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, (INFONAVIT).

Aunado al problema de la vivienda, existen los requerimientos de infraestructura básica, como el abastecimiento de agua potable, energía eléctrica, seguridad pública, drenaje, etc. que son servicios que están bajo la jurisdicción del estado. Sin embargo, un servicio que a veces es olvidado o recibe un segundo lugar en la lista de prioridades de los servicios públicos, es el tratamiento de las aguas residuales. Por ello, el INFONAVIT ha construido plantas de tratamiento para mejorar la calidad de las descargas provenientes de sus conjuntos habitacionales. No obstante, la mayoría de las plantas se encuentran abandonadas o no proporcionan un tratamiento suficiente para la descarga del agua residual tratada, debido, entre otros factores a la inadecuada selección de la tecnología y la falta de operadores calificados y recursos financieros.

Por tal razón, el Instituto de Ingeniería fue contratado por el INFONAVIT, para identificar las fallas que afectan la operación de las plantas de tratamiento instaladas en los conjuntos habitacionales a través de visitas de campo a dichas instalaciones.

2.2 Procedimiento

La visita a las plantas de tratamiento de aguas residuales, representativas de las instaladas en los conjuntos habitacionales del INFONAVIT, tiene como objetivo el identificar los principales problemas sobre diseño, equipamiento, operación y mantenimiento que fueran causa de un ineficiente tratamiento.

Para obtener la mayor cantidad de información se definió el siguiente procedimiento:

- a) Recopilación de información sobre el diseño de los sistemas de tratamiento visitados (memorias de cálculo, planos, equipamiento, instalaciones auxiliares y planos del sistema de alcantarillado).

Infelizmente, no se dispuso de información sobre diseño, por lo que no se pudo comparar la obra construida con la proyectada. Este análisis permitiría establecer las principales fallas en la ejecución del proyecto y delimitar la responsabilidad entre constructor y proyectista.

- b) Entrevistas con funcionarios estatales con objeto de conocer su opinión respecto a la problemática de operación de los sistemas y las estrategias o políticas que se efectúan para dar solución a la misma.
- c) Inspección física de los sistemas y evaluación cualitativa de la eficiencia de tratamiento.

El levantamiento de esta información se realizó mediante la aplicación de cuestionarios que consideran aspectos sobre la configuración y dimensiones de las unidades que integran el tren de tratamiento.

2.3 Análisis de las principales fallas encontradas en las plantas de tratamiento de agua residual inspeccionadas.

Se visitaron 24 de las 56 plantas de tratamiento de aguas residual inventariadas por el INFONAVIT, ubicadas en 4 Delegaciones Estatales (Veracruz, Guerrero, Puebla, Morelos). El número de plantas visitadas representa el 43% del total, por lo que puede considerarse como una muestra representativa de las plantas instaladas.

El número y tipo de sistemas de tratamiento inspeccionados es el siguiente: 4 fosas sépticas (16%), 11 tanques imhoff (47%), 1 laguna (4%), 2 filtros percoladores (8%) y 6 aireación extendida (25%), lo que representa un 63% de tratamientos primarios y un 37% de tratamientos secundarios FIGURA 2.1. En la TABLA 2.1 se presenta una relación de las plantas visitadas.

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

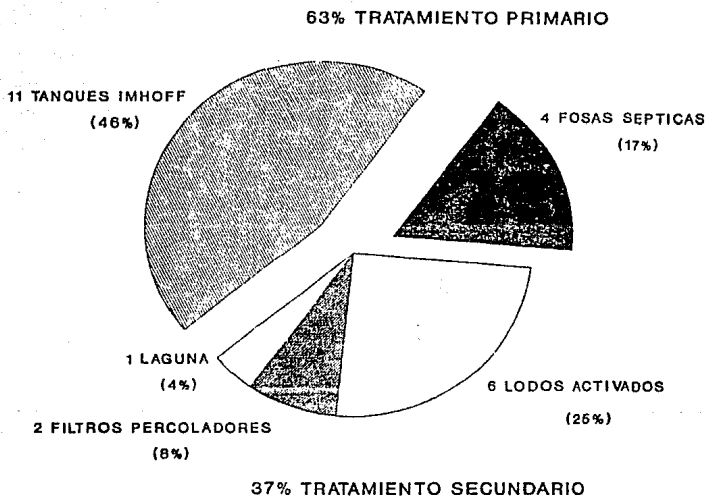


FIGURA 2.1 NUMERO Y TIPO DE PLANTAS EXAMINADAS EN 4 DELEGACIONES ESTATALES DEL INFONAVIT.

TABLA 2.1 ESTADO ACTUAL DE OPERACION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO INSPECCIONADOS.

NOMBRE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	CIUDAD	FECHA DE VISTA	TIPO DE PLANTA	NO. DE HABITANTES	ESTADO ACTUAL DE FUNCIONAMIENTO
VERACRUZ:					
PASTORESA	JALAPA	ABR-92	Fosa séptica	NO	NO OPERA-ABANDONADA
GAVIDOTAS I	POZA RICA	ABR-92	Tanque Imhoff	NO	NO OPERA-ABANDONADA
GAVIDOTAS II	POZA RICA	ABR-92	Tanque Imhoff	NO	NO OPERA-ABANDONADA
TENEXHACO	TUXPAN	ABR-92	Tanque Imhoff	4,990	NO OPERA-ABANDONADA
PUERTO PESQUERO	TUXPAN	ABR-92	Aireación Est.	NO	NO OPERA-CLAUSURADA
RIO MEDIO	VERACRUZ	ABR-92	Tanque Imhoff	NO	NO OPERA-INCÓNCLUSA
CHIVERÍAS	VERACRUZ	ABR-92	Tanque Imhoff	2,878	MALA CALIDAD EFL.
LAS MORTALIZAS	VERACRUZ	ABR-92	Filt. Percolador	NO	MALA CALIDAD EFL.
PUERTO PILOTO	ALVARADO	ABR-92	Fosa séptica	NO	NO OPERA-ABANDONADA
EL TESORO	COATZACOALCOS	ABR-92	Lagunas	10,736	NO OPERA-INCÓNCLUSA
RANCHO ALEGRE	COATZACOALCOS	ABR-92	Fosa séptica	NO	NO OPERA-ABANDONADA
GUERRERO:					
TECNOLÓGICO	ACAPULCO	MAY-92	AIREACION EXT.	NO	OPERA
COLOSO	ACAPULCO	MAY-92	AIREACION EXT.	NO	OPERA
AMPL. COLOSO	ACAPULCO	MAY-92	AIREACION EXT.	NO	OPERA
LA JABONERA	ACAPULCO	MAY-92	AIREACION EXT.	NO	OPERA
PUEBLA:					
O. I. ZONA NORTE	PUEBLA	JUL-92	Tanque Imhoff	5,150	NO OPERA-ABANDONADA
O. I. ZONA SUR	PUEBLA	JUL-92	Tanque Imhoff	18,152	NO OPERA-ABANDONADA
VILLA FRONTERA	PUEBLA	JUL-92	Aireación Est.	12,286	NO OPERA-ABANDONADA
ANTONIO J. HDZ.	SN. MARTIN TEPELUCAN	JUL-92	Tanque Imhoff	NO	NO OPERA-ABANDONADA
MORELOS:					
LOMAS DE CORTES	CUERNAVACA	JUL-92	Tanque Imhoff	4,424	NO OPERA-ABANDONADA
TEOPANZOLCO	CUERNAVACA	JUL-92	Tanque Imhoff	5,253	OPERA
LAS CASAS	JOZUILA	JUL-92	Fosa séptica	695	OPERA
LD DE ABRIL	CD. AYALA	JUL-92	Tanque Imhoff	3,053	NO OPERA-ABANDONADA
PIEDRA BLANCA	CUAUTLA	JUL-92	Filt. Percolador	NO	NO OPERA-ABANDONADA

NO: NO DISPONIBLE

A continuación se describen los aspectos más relevantes encontrados durante la inspección.

- El 17% de estas plantas operan y llevan a cabo la desinfección del efluente (sistemas de aireación extendida ubicadas en el municipio de Acapulco Gro.). Del 83% restante, 62% se encuentran abandonadas, 4% clausuradas y 17% generan un efluente de mala calidad (FIGURA 2.2).

- Con respecto al sitio de descarga, el 83% se dirige a cuerpos de agua, de los que destacan por su importancia: la laguna de Tres Palos, la laguna de Alvarado, el río

Atoyac y el río Amacuzac. Un 4% descarga a sitios de infiltración en suelo y el restante, 13%, descarga al alcantarillado (FIGURA 2.3).

- 7 de los 11 tanques Imhoff (5 en Veracruz y 2 en Morelos) y los 2 filtros percoladores instalados fueron diseñados y construidos por una sola firma de ingeniería, lo que representa un 33% del total de las plantas; cabe resaltar que estas no operan.

- Se observó que el sistema de alcantarillado de todos los conjuntos habitacionales es separado, a excepción de Gaviotas I y II, Poza Rica, Ver. donde sólo existe drenaje sanitario. Así mismo se identificó que en las plantas de tratamiento Chiverías en Veracruz, Ver. y Lomas de Cortés en Cuernavaca, Mor., se mezclan las aguas residuales sanitarias con las pluviales, razón por la cual durante tormentas ocurren desbordamientos e inundaciones en dichas plantas.

- Únicamente el municipio de Acapulco, Gro., se ha hecho cargo de la administración, operación y mantenimiento, obteniendo óptimos resultados; esto representa el 25% de los sistemas de tratamiento inspeccionados.

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

- En la mayoría de las plantas de tratamiento se carece de dispositivos de control y operación como: válvulas, compuertas, medidores de flujo y bombas. Además se ha llegado a omitir la instalación de tuberías de purga de lodos y la construcción de canales para la conducción de estos. No se puede precisar si lo anterior se debe por mal diseño, construcción o bien porque al encontrarse abandonadas están expuestas al vandalismo.

No. DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO

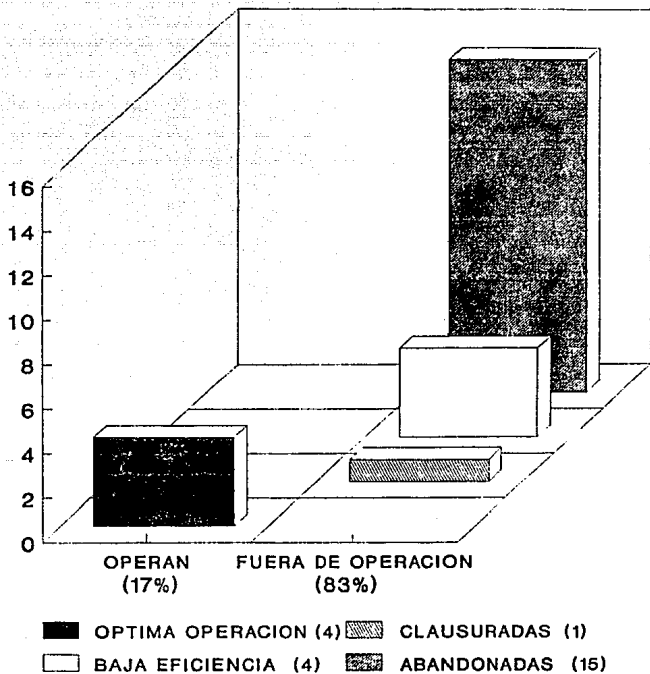
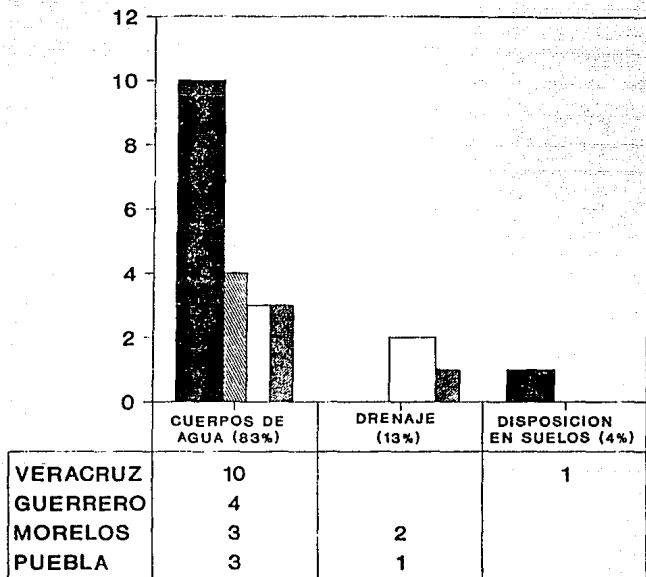


FIGURA 2.2 ESTADO ACTUAL DE OPERACION DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

No. DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO



VERACRUZ
 GUERRERO
 MORELOS
 PUEBLA

FIGURA 23 SITIOS DE DESCARGA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

- En el caso de la laguna de tratamiento de la unidad "El Tesoro" en Coatzacoalcos, Ver., existe una relación de 0.04 m²/hab y el tiempo de retención de 2.5 h; si se considera que los criterios teóricos para el diseño de este tipo de proceso son de 6 a 8 m²/hab con tiempos de retención de 40 y 60 días, entonces el sistema está subdimensionado en un 98.8% (Noyola y Briones, 1990). Por lo anterior, no puede considerarse como una obra de tratamiento.

- Los sistemas de tratamiento Gaviotas II en Poza Rica, Ver. y Las Cañas en Jojutla, Mor. fueron instalados en las vegas de ríos, por lo que durante "avenidas" estos sistemas se inundan.

- Con respecto a las fosas sépticas, no se pueden certificar su existencia debido a que su instalación es subterránea; sin embargo, en el caso de Puerto Piloto en Alvarado, Ver. el proyecto consideraba la instalación de fosas sépticas preconstruidas, mismas que fueron adquiridas y abandonadas en predios cercanos.

- De las plantas visitadas, solamente las plantas de tratamiento localizados en Acapulco, Gro. cuentan con personal calificado para su operación y mantenimiento.

Las principales causas que dan origen a las fallas encontradas son de carácter técnico y administrativo.

2.3.1 Aspectos técnicos

Dentro de los aspectos técnicos destaca fundamentalmente la inadecuada selección de tecnología y la falta de lineamientos y especificaciones que regulen la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Finalmente, se puede concluir que entre los involucrados, ha existido poco interés en construir y operar infraestructura para el saneamiento del agua. Por otra parte, cuando se han construido sistemas para el tratamiento del agua los resultados han sido poco satisfactorios.

2.3.2 Aspectos administrativos

El principal aspecto de carácter administrativo, es el relacionado con la carencia de recursos económicos y de organización para operar las plantas de tratamiento, relacionándose directamente con la falta de soporte financiero para la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento instalados.

Los residuos que se generan en los conjuntos habitacionales, y que se descargan en cuerpos de agua crean contaminación. Esta a su vez, impone costos a otros o impiden que logre beneficios, que de otra manera le sería imposible tener. Un ejemplo de éstos, podría incluir la necesidad de tratamiento adicional aguas abajo para su uso en el consumo doméstico, industrial o agrícola, así como la pérdida de ingresos en el caso de lugares de recreación con actividades acuáticas o contaminación de peces comestibles (Palange y Zavala, 1987).

No se puede confiar en que aquellos que producen la contaminación emprendan voluntariamente medidas para reducirla. Ello debido a que tales medidas requerirían que los contaminadores incrementen sus propios costos sin obtener necesariamente algo o la totalidad del beneficio correspondiente (una parte fundamental de la utilidad repercutiría en aquellos que se ven afectados por la contaminación). Se puede establecer en términos generales que las empresas y los hogares tenderán a elegir voluntariamente el incurrir en costos, sólo cuando perciban un beneficio por lo menos

equivalente.

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

Los medios para inducir a los contaminadores a reducir el nivel de contaminación puede dividirse en tres métodos. El primero se basa en el uso de la autoridad reguladora del gobierno para exigir el cumplimiento de las normas (en volumen y concentración). Un segundo método, es brindar incentivos financieros a los contaminadores y que tomen medidas para reducir la contaminación o mantenerla en un nivel específico; ésto se concretará a través de créditos o subsidios. Un tercer método es aplicar a los contaminadores impuestos o cobros en relación a la magnitud o la concentración de sus efluentes.

2.3.3 Organismos operadores

Si los recursos requeridos para la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento fueran aportados por la CNA (provenientes de la recaudación por derechos de descarga), y se consideran incentivos y ventajas tributarias para la entidad que administrara y operara los sistemas de tratamiento, resultaría más sencillo el gestionar la transferencia de los sistemas de tratamiento a los organismos operadores locales, o bien, la concesión del tratamiento de aguas residuales a organizaciones privadas.

La privatización como un método alternativo de financiamiento de diferentes tipos de obras públicas, se ha usado frecuentemente en algunos países durante los últimos

diez años. Sin embargo, en México la aplicación de este enfoque a los sistemas de tratamiento de aguas residuales es nuevo. El método ha sido particularmente útil en situaciones, donde la comunidad debe sufragar todo el costo de diseño, construcción, operación y mantenimiento.

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

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

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

cobrarán dentro o adicionalmente a las de agua potable y alcantarillado. En la concesión, los usuarios lo son del concesionario y en el caso del contrato los usuarios lo siguen siendo del organismo, siendo interna la relación entre éste y el contratista.

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

Como se observa, la Ley contempla la concesión o el contrato de servicios de saneamiento; sin embargo, al desconocerse la ordenanza que obligue a los organismos operadores locales a hacerse cargo de la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento, la Ley les confiere el derecho al cobro de tarifas que se pueden cubrir dentro o adicionalmente a las de agua potable y alcantarillado (al margen de cobro por derechos de descarga que realiza la Federación). Por lo anterior se considera factible que mediante el uso de su facultad opere los sistemas de tratamiento instalados, o bien, contrate a terceros que brinden este servicio.

3. CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Aunque normalmente se considera el agua como H₂O, todas las aguas naturales contienen cantidades variables de otras sustancias en concentraciones que fluctúan de unos cuantos miligramos por litro en agua de lluvia, a cerca de 35,000 mg/L en agua de mar. Por lo general, las aguas residuales contienen la mayoría de los constituyentes del agua suministrada, más las impurezas provenientes del proceso productor de desechos. Para obtener una imagen verdadera de la naturaleza de una muestra de agua en particular, es necesario cuantificar diferentes propiedades mediante un análisis que determine sus características físicas, químicas y biológicas. En este capítulo se identifican y cuantifican las características de las aguas residuales domésticas.

3.1 Definición de diferentes tipos de aguas negras

a) Aguas negras domésticas

Son las que contienen desechos humanos y caseros, además de infiltraciones de aguas subterráneas. Estas aguas negras son típicas de las zonas residenciales en las que no se efectúan operaciones industriales, o sólo en muy pequeña escala. Este tipo de aguas negras es el que se analizará en el presente trabajo.

b) Aguas negras municipales

Son semejantes a las domésticas, pero incluyen gran parte, si no es que todos los desechos industriales y de servicios de la localidad.

c) Aguas negras combinadas

Son una mezcla de las aguas negras sanitarias y pluviales, presentes cuando se colectan en el mismo sistema de alcantarillado.

d) Aguas de desechos industriales

Son las aguas de descarga de los procesos industriales. Pueden colectarse, tratarse y disponerse aisladamente o pueden agregarse y formar parte de las aguas negras municipales o combinadas.

3.2 Caracterización de las aguas residuales

El agua residual es un agua que contiene sustancias suspendidas y disueltas de distintas fuentes tales como casas habitación, edificios comerciales, plantas industriales, instituciones y aguas pluviales. Dependiendo de su cantidad, tipo y forma, estos residuos tendrán características variables de acuerdo a los flujos a ser tratados. Para su estudio se clasifican en residuos físicos, químicos y biológicos; por otra parte, algunos de éstos son parámetros fundamentales en el diseño y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

En la TABLA 3.1 se indican desglosadas las características genéricas de las aguas residuales.

TABLA 3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES

FISICAS	QUIMICAS	BIOLOGICAS
<p>SOLIDOS</p> <p>TEMPERATURA</p> <p>COLOR</p> <p>OLOR</p>	<p>ORGANICOS</p> <p>Proteínas</p> <p>Carbohidratos</p> <p>Aceites y grasas</p> <p>Surfactantes</p> <p>Fenoles</p> <p>Pesticidas</p> <p>INORGANICOS</p> <p>pH</p> <p>Cloruros</p> <p>Nitrógeno</p> <p>Fósforo</p> <p>Azufre</p> <p>Compuestos Tóxicos</p> <p>Metales pesados</p> <p>GASES</p> <p>Oxígeno</p> <p>Acido Sulhídrico</p> <p>Metano</p>	<p>PROTISTAS</p> <p>VIRUS</p> <p>PATOGENOS</p>

Fuente: EPA-625/1-77-009, 1977

3.2.1 Características Físicas

Las características físicas más importantes en las aguas residuales incluyen los varios tipos de sólidos, temperatura, color y olor.

a) Sólidos

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

- Sólidos Orgánicos

Incluyen los productos de desecho animales, vegetales, como la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; aunque pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos.

Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, y están combinados algunos con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son la proteínas, los hidratos de carbono y las grasas junto con sus productos de descomposición.

- Sólidos Inorgánicos

Son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Los sólidos inorgánicos son comúnmente sustancias minerales como: arena, grava, y sales provenientes de abastecimientos de agua generando dureza y un alto contenido mineral.

Los sólidos pueden clasificarse o agruparse de acuerdo a su condición física como sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, incluyendo en cada uno de estos grupos tanto a sólidos orgánicos como inorgánicos.

a.1) Sólidos suspendidos

Son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua. Estos sólidos pueden separarse del agua negra por medios físicos o mecánicos, como la sedimentación y la filtración. Los sólidos suspendidos se dividen en sólidos sedimentables y coloidales.

- Sólidos sedimentables

Son la porción de los sólidos suspendidos cuyo peso y tamaño es suficiente para que sedimente en un periodo determinado, que generalmente es de una hora.

- Sólidos coloidales

Se definen como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los suspendidos sedimentables. En la actualidad, no hay una prueba sencilla de laboratorio que sirva específicamente para determinar la materia coloidal.

a.2) Sólidos disueltos

De los sólidos totales disueltos de un agua residual de tipo doméstico, aproximadamente un 90 % está disuelto y el restante se encuentra en estado coloidal. El total de sólidos disueltos está compuesto aproximadamente por 40 % de material orgánico y el resto de inorgánicos. La porción coloidal contiene mayor porcentaje de materia orgánica que la disuelta, debido a que esta incluye a todas las sales minerales del agua de abastecimiento.

a.3) Sólidos totales

Bajo este nombre se distinguen todos los constituyentes sólidos de las aguas negras, y son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de los sólidos suspendidos y disueltos.

b) **Temperatura**

La temperatura del agua residual varía a través de todo el año y con la zona geográfica. La temperatura es importante debido a sus efectos en la vida acuática y por su influencia en la selección y diseño de los procesos de tratamiento, ya que actúa directamente en las reacciones químicas y biológicas, velocidades de reacción, además puede determinar la adecuabilidad para el reuso.

Por ejemplo, la temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25 a 37° C. La digestión aerobia y la nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza los 50°C.

Cuando la temperatura llega por debajo de los 15°C las bacterias productoras de metano quedan inactivas y a los 5°C, las bacterias nitrificantes autótrofas, prácticamente cesan su funcionamiento.

Las altas temperaturas tienden a incrementar las velocidades de reacción biológicas y químicas, el oxígeno es menos soluble en agua caliente y disminuye la cantidad de transferencia de oxígeno.

c) **Color**

El agua residual fresca tiene un color grisáceo y conforme la materia orgánica es degradada en ausencia de oxígeno el color cambia a negro. El agua residual negra es normalmente anaerobia o séptica. En algunas zonas el color puede ser cambiado por descargas de desechos industriales. Los cambios en el color del agua a lo esperado, debe prevenir al operador de posibles fallas en el proceso de tratamiento.

d) **Olor**

El olor del agua residual está asociado con la descomposición y putrefacción de la materia orgánica. El color y el olor pueden indicar la condición del agua residual. El agua residual reciente tiene un olor ligero y no necesariamente desagradable, menos ofensivo que el del agua residual anaerobia o séptica.

3.2.2 Características químicas

Químicamente, el agua residual puede ser descrita de acuerdo a sus constituyentes sólidos en orgánicos e inorgánicos y gases disueltos, éstos componentes interactúan muy estrechamente ya sea en beneficio o en detrimento del tratamiento y disposición. El entender las características químicas y analizar los constituyentes del agua residual son necesarios durante el diseño para reducir los efectos negativos y sacar ventaja de sus beneficios.

a) Materia orgánica

La materia orgánica está presente en los sólidos sedimentables, no sedimentables, coloidales o disueltos y constituye una gran parte de los contaminantes presentes en el agua. En promedio en un agua residual fuerte, los SS son aproximadamente el 75% de la materia orgánica.

Las sustancias orgánicas incluyen proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, surfactantes, fenoles y pesticidas. Algunas de estas sustancias son fácilmente biodegradables, que al ser descargadas sin tratamiento previo a las aguas receptoras, causan desplazamiento y consumo del oxígeno disponible cambiando las condiciones naturales del cuerpo de agua. Las unidades de tratamiento biológico tienen la ventaja de la biodegradabilidad a través de microorganismos que crecen bajo condiciones adecuadas (oxígeno disuelto, temperatura, pH, etc.) y oxidan los compuestos orgánicos a formas estables que pueden ser removidas bajo condiciones controladas y sencillas.

Otras sustancias orgánicas, como algunos detergentes e hidrocarburos clorados, no son fácilmente biodegradables, o son tóxicos a la mayoría de los microorganismos; éstas sustancias deben ser removidas previamente por tratamiento fisicoquímico.

Las pruebas básicas para determinar el contenido orgánico del agua residual son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el Carbón Orgánico Total (COT). Otros métodos incluyen la determinación de la fracción de sólidos volátiles de los sólidos totales, nitrógeno orgánico y amoniacal o consumo de oxígeno.

-Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO se define como la cantidad de oxígeno aproximada que será consumida por los microorganismos en la oxidación biológica de la materia orgánica. Este parámetro indica la fuerza de las aguas residuales domésticas e industriales en términos del oxígeno requerido si el flujo fuera descargado en cursos de agua natural. En el diseño de las plantas de tratamiento, la DBO es uno de los parámetros básicos en la selección y dimensionamiento de las unidades.

Hay muchas medidas importantes de la demanda bioquímica de oxígeno para un agua residual: DBO día 5 (DBO_5), Demanda Última de Oxígeno (DBOU) y Demanda Nitrogenada de Oxígeno (DNO). La prueba de la DBO_5 , representa sólo una fracción de la demanda última y que en promedio es de 2/3 de la DBOU.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es una medida de la fuerza de los desechos domésticos e industriales en función de la cantidad total de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica. La DQO del agua residual doméstica es normalmente mayor que la DBO_5 .

- Carbón Orgánico Total (COT)

El Carbón Orgánico Total (COT), es otra prueba que mide la cantidad de materia orgánica en el agua residual y se puede determinar por técnicas especializadas de combustión o por la capacidad de absorción de rayos UV de la muestra. En ambos casos hay en el mercado instrumentos comerciales, pero su compra y operación es relativamente cara.

b) Materia Inorgánica

Las sustancias inorgánicas más importantes presentes en el agua residual incluyen los compuestos ácidos y básicos de nitrógeno, fósforo, cloro y azufre, compuestos tóxicos y metales pesados. Estos compuestos solos o en interacción con otros componentes pueden afectar el crecimiento de organismos, causar corrosión o producir olores desagradables.

- pH

El pH puede afectar a los métodos de tratamiento y al equipo metálico expuesto con el agua residual. La alcalinidad natural del agua residual en muchos casos actuará como amortiguador suficiente para conservar un pH neutro, necesario para la actividad biológica. Si el pH sale de este intervalo (6.0 a 8.5), el tratamiento biológico no será posible. Un pH alto o bajo del agua residual también pueden causar problemas de corrosión.

La alcalinidad es un factor importante en tratamientos como la coagulación, cloración o remoción de nitrógeno amoniacal por nitrificación biológica, entre otros.

- Nitrógeno

El nitrógeno está presente en la naturaleza en cinco formas principales: nitrógeno orgánico, amoniacal, nitratos, nitritos y nitrógeno elemental gaseoso. El orgánico está normalmente contenido en las proteínas de las plantas y animales. El amoniacal es producido por la descomposición de la materia orgánica. El nitrógeno gaseoso elemental es generado bajo condiciones anaerobias por la reducción bacteriana de los nitratos a nitritos y luego a nitrógeno gas, en presencia de pequeñas cantidades de carbono.

El agua residual contiene en su mayoría nitrógeno orgánico y amoniacal. Durante el tratamiento biológico aerobio, el nitrógeno orgánico es removido o convertido a otras formas, dependiendo del tipo de

tratamiento empleado. El nitrógeno amoniacal puede ser oxidado a nitritos y nitratos por la actividad bacteriana (nitrificación). Si el agua es descargada antes de que la nitrificación ocurra, el efluente contendrá amoníaco, el cual es tóxico para algunos tipos de vida vegetal o animal y puede oxidarse a nitratos y consumir oxígeno libre presente en el agua receptora. Los nitratos en el efluente, aunque es una fuente secundaria de oxígeno, también es dañino, porque promueve el crecimiento excesivo de algas u otros microorganismos.

- Fósforo

El fósforo, es requerido para la reproducción y síntesis de nuevos tejidos celulares; su presencia es necesaria para el tratamiento biológico. El agua residual doméstica es relativamente rica en fósforo, debido a su alto contenido en desechos humanos y detergentes sintéticos. En combinación con el nitrógeno es la causa de la eutroficación de cuerpos de agua. El fósforo, es el factor limitante en el tratamiento biológico.

- Otros elementos

Los cloruros y otros elementos como el sodio, están disueltos o disociados en el agua y no son removidos por procesos de tratamiento ordinarios.

El azufre, puede causar corrosión en la tubería (en sus formas ácidas) y olores (ácido sulfhídrico gaseoso y otros compuestos del azufre). Los

sulfatos son reducidos por bacterias bajo condiciones anaerobias a sulfuros, incluyendo al ácido sulfhídrico, el cual es altamente corrosivo.

Algunos compuestos tóxicos y metales pesados pueden estar presentes en el agua residual y tener un efecto significativo en el tratamiento y disposición. Muchos de los metales pesados son necesarios en cantidades muy pequeñas para el crecimiento de la vida biológica, pero arriba de éstas son tóxicos. La presencia y cantidad de estas sustancias debe ser determinada y considerada en el diseño de los procesos de tratamiento, si es necesaria, su remoción.

c) Gases

Los gases encontrados en el agua residual que son importantes en el diseño de los procesos de tratamiento, incluyen el nitrógeno (N_2), dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3), metano (CH_4) y oxígeno (O_2).

- Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es esencial para la respiración de los organismos aerobios. El oxígeno es poco soluble en el agua y tendrá que ser adicionado si se quiere un funcionamiento adecuado de las unidades biológicas. La solubilidad del oxígeno disminuye cuando se incrementa la temperatura y el contenido de sólidos.

3.2.3 Características Biológicas

Los principales contaminantes biológicos presentes en el agua residual incluyen bacterias, virus patógenos y parásitos intestinales.

El parámetro para establecer una aproximación de los contaminantes biológicos son los coliformes totales o fecales. Estos, están presentes en gran cantidad en los desechos de animales y humanos y son fácilmente contabilizados y más resistentes a condiciones adversas que muchos patógenos. Por lo tanto, la presencia de organismos coliformes fecales es tomado como un indicador de la presencia de patógenos.

Los microorganismos presentes en el punto de disposición final (agua superficial o subterránea) pueden indicar el grado de contaminación o toxicidad en las aguas residuales tratadas. Los organismos en el agua residual pueden ser removidos por procesos de tratamiento y con adición de químicos bajo condiciones controladas en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Debido a la posibilidad de sobrevivencia de los patógenos es importante disponer de instalaciones de desinfección, para evitar la transmisión de enfermedades.

3.3 Composición del agua residual

La composición se refiere a los componentes físicos, químicos y biológicos encontrados en el agua residual. Los componentes pueden variar en cantidad, tipo y forma dependiendo de las fuentes del agua residual.

La composición y el flujo del agua residual varían diaria, semanal y anualmente, ya que son función del estilo de vida de la población. En la TABLA 3.2 se muestra la composición promedio de un agua residual doméstica. Es necesario aclarar que estos valores corresponden a comunidades de Estados Unidos de América, en donde las costumbres sobre el uso del agua son distintas a las de México y por lo tanto es posible esperar variaciones.

TABLA 3.2 COMPOSICION PROMEDIO DE UN AGUA RESIDUAL DOMESTICA

CONTAMINANTES	UNIDAD	CONCENTRACION		
		DEBIL	MEDIA	ALTA
Sólidos Totales	mg/L	350	720	1200
Disueltos totales	mg/L	250	500	850
Disueltos fijos	mg/L	145	300	525
Disueltos volátiles	mg/L	105	200	325
Suspendidos totales	mg/L	100	220	350
Suspendidos Fijos	mg/L	20	55	75
Suspendidos volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/L	5	10	20
DQO	mg/L	250	500	1000
DBO ₅	mg/L	110	220	400
Nitrógeno (Total como N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (Total como P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfato	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grasas	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	NMP/100 ml	10E+6	10E+7	10E+8

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991

4. SELECCION 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 reuso.

4.1 Clasificación de métodos de tratamiento

El principal objetivo del tratamiento del agua residual es producir un efluente que pueda ser descargado sin causar daños al medio ambiente. Los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados mediante medios físicos, químicos y biológicos.

*** Métodos físicos**

Tratamiento en el cual se llevan a cabo cambios a través de la aplicación de fuerzas físicas. Las unidades típicas incluyen cribado, mezclado, transferencia de gas, sedimentación y filtración.

* Métodos químicos

Operaciones en las cuales la remoción o tratamiento de los contaminantes se realiza mediante la adición de reactivos que llevan a cabo diferentes reacciones químicas. La precipitación y la desinfección son dos de los principales ejemplos.

* Métodos biológicos

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

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 un 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 y requiere un mayor tiempo de arranque.

4.2 Diagramas de flujo de los procesos de tratamiento

Con base en los contaminantes ha ser eliminados, el número de procesos que pueden combinarse es ilimitado. El término *diagrama de flujo* se usa para describir 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 de flujo 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.

En la literatura, los esquemas de tratamiento se conocen como primarios, secundarios o terciarios (avanzados). En un tratamiento primario, una porción de los sólidos suspendidos y la materia orgánica es eliminada del agua residual. Esta remoción es generalmente realizada mediante procesos físicos. El efluente del tratamiento primario contiene aún materia orgánica y una DBO alta. El tratamiento del efluente primario elimina la materia orgánica disuelta residual y suspendida; a esta etapa se le conoce como tratamiento secundario. En general, los procesos biológicos que emplean microorganismos para degradar la materia orgánica son usados en el tratamiento secundario.

El efluente del tratamiento secundario contiene pequeñas cantidades de DBO y sólidos suspendidos y algunos mg/L de oxígeno. Cuando se requiere el reuso o el control de la eutroficación del cuerpo receptor, se usan los tratamientos terciarios.

4.3 Selección del proceso por remoción de contaminantes

En el caso del tratamiento de un agua residual doméstica, son aplicables la gran mayoría de los procesos químicos, físicos y biológicos o combinación de éstos. En la TABLA 4.1 se muestra una relación entre el tipo de contaminante y los procesos que pueden ser aplicados para su remoción. Aclaremos que en esta tabla de ninguna manera se involucran todos los procesos para el tratamiento de aguas, ya que solamente se mencionan los procesos más aplicados y conocidos para poblaciones pequeñas (1,000 a 15,000 habitantes), donde además pueden incluirse nuevas tecnologías.

Para evaluar una tecnología nueva o una que no esté mencionada en la TABLA 4.1, se deben aplicar ciertos criterios de selección expuestos en el inciso 4.4.

4.3.1 Remoción de sólidos suspendidos y sedimentables

Para la eliminación de sólidos suspendidos y sedimentables, en una fase inicial deben emplearse operaciones como el cribado y la sedimentación. El primero elimina los contaminantes voluminosos protegiendo al equipo electromecánico y al proceso principal. La sedimentación por su parte, remueve los sólidos perceptibles a simple vista, eliminando del agua residual el 70% de sólidos sedimentables y 30% de la DBO₅.

Otra operación que elimina este tipo de contaminantes es la filtración, sin embargo, esta se considera frecuentemente, en plantas pequeñas, como una unidad de pulimento. En la filtración, la remoción de los sólidos suspendidos o sedimentables puede abatir la eficiencia del proceso por taponamiento del medio filtrante. La filtración es eficiente en la remoción de SS pero requiere de mayor esfuerzo operacional que un sedimentador primario, por lo que no se emplea comúnmente en esta etapa.

Las unidades de precipitación química o coagulación/floculación se utilizan para facilitar la remoción de sólidos suspendidos en un sedimentador primario, así como para la remoción de fósforo después del tratamiento secundario. En el caso del agua residual doméstica no se justifica su empleo, pues la remoción de sólidos puede ser llevada a cabo a costos menores por medio de un tratamiento físico o biológico. Además, los lodos en un tratamiento químico son producidos en mayores cantidades y contienen sales no biodegradables, lo que ocasionaría inconvenientes para su disposición final.

La flotación es utilizada para la remoción de grasas y aceites o material flotante, contaminantes que en el primer caso difícilmente se presentan en grandes cantidades en las aguas residuales domésticas y en el segundo se pueden aplicar sistemas menos complejos. Las trampas de grasas simples pueden limitar la entrada de grasas y aceites a la planta.

TABLA 4.1 OPERACIONES, PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO USADOS PARA REMOVER LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES PRESENTES EN UN AGUA RESIDUAL MUNICIPAL.

CONTAMINANTES	UNIDAD, PROCESO O SISTEMA DE TRATAMIENTO	CLASIFICACIÓN
Sólidos suspendidos y sedimentables	Cribado y desmenuzado	F
	Sedimentación	F
	Flotación	F
	Filtración	F
	Coagulación/sedimentación	Q/F
Orgánicos biodegradables	Procesos Aerobios:	
	Lodos activados	B
	Filtro percolador	B
	Discos biológicos rotatorios	B
	Lagunas aireadas	B
	Lagunas aerobias	B
	Procesos Anaerobios:	
	Fosa Séptica	B
	Tanque Imhoff	B
	Laguna Anaerobia	B
	Filtro Anaerobio	B
	Reactor Lecho de Lodos con Flujo Ascendente (UASB).	B
	Patógenos	Desinfección con:
Cloro		
Dióxido de cloro		O
Hipoclorito de calcio		O
Hipoclorito de Sodio		O
Ozonación		O
	Luz ultravioleta	O
Nutrientes:		
	Nitrógeno	
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa suspendida	B
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa fija	B
	Arrastre con amoníaco	O/F
	Intercambio iónico	O
	Cloración en el punto de quiebre	O
Fósforo	Coagulación/Sedimentación con sales metálicas	Q/F
	Coagulación/Sedimentación con cal	Q/F
	Remoción bioquímica	B
Orgánicos refractarios	Adsorción con carbón activado	F
	Ozonación	O
Metales pesados	Precipitación química	O
	Intercambio iónico	O
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio iónico	O
	Ósmosis Inversa	F
	Electrodialisis	O

O= Químicos, F= Físicos y B= Biológicos

4.3.2 Remoción de orgánicos biodegradables

Para la remoción de la materia orgánica biodegradable existen dos tipos de tratamiento, el anaerobio y el aerobio. La diferencia esencial entre estos dos tipos de tratamiento es la presencia o ausencia de oxígeno, y de ello se derivan las diferencias más importantes que influyen significativamente sobre la selección de los métodos de tratamiento a ser empleados.

4.3.2.1 Sistemas aerobios

Todos los sistemas biológicos aerobios mencionados en la TABLA 4.1, como son los lodos activados, filtro sumergido, filtro percolador y discos biológicos rotatorios pueden ser aplicados en el tratamiento del agua residual doméstica. En este caso, la elección de un sistema de tratamiento estará supeditado básicamente al costo de operación y mantenimiento, debido a que la calidad del efluente es similar en todos los casos.

Para sistemas de lagunas de estabilización, la disponibilidad de área es el criterio que limita su empleo ya que requieren, en comparación con los otros sistemas señalados, un área alrededor de 70 veces mayor. En centros urbanos, los altos costos del terreno son el factor restrictivo en la selección de este sistema. Sin embargo es un sistema que prácticamente no requiere de equipo electromecánico, tiene los requerimientos más bajos de personal, es capaz de producir agua para riego y elimina coliformes. La presencia de sólidos suspendidos en forma de algas es uno de sus inconvenientes.

4.3.2.2 Sistemas anaerobios

Dentro de este tipo de sistemas los tanques Imhoff y fosas sépticas han sido utilizados ampliamente en conjuntos habitacionales, debido a su bajo costo de inversión así como de operación y mantenimiento. Sin embargo, este tipo de sistemas poseen bajas

eficiencias de remoción de contaminantes, únicamente se limitan a la remoción de sólidos suspendidos en un 60% y prácticamente no remueven materia orgánica soluble (30% DBO5). Actualmente se ha desarrollado una tecnología que mejora la eficiencia del tanque Imhoff al mismo costo de inversión y operación, este proceso se conoce como reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket), el cual remueve un 70 a 80% de la materia orgánica en suspensión y soluble. Tomando en consideración el desarrollo de esta nueva tecnología, no se recomienda utilizar más los tanques Imhoff para conjuntos habitacionales con requerimientos similares a los del INFONAVIT.

La utilización de fosas sépticas debe estar restringida a todas aquellas condiciones que imposibiliten la utilización de otro sistema de tratamiento. Las lagunas anaerobias presentan el mismo inconveniente de las aerobias, necesitan una superficie extensa de terreno y además se adiciona el problema potencial de olores en los meses cálidos. El filtro anaerobio es un reactor que retiene la biomasa anaerobia en un empaque lo que le confiere mayor versatilidad en su operación; sin embargo, el empaque provoca un costo adicional que en el caso del tratamiento de aguas residuales domésticas no está justificado.

De igual forma, el proceso de contacto anaerobio comprende un digestor completamente mezclado y requiere de un agitador y un sedimentador así como un equipo de bombeo de lodo, aspectos que impactan directamente el costo de inversión y operación. Este proceso no es aplicable a aguas residuales con bajo contenido de materia orgánica.

Existe el reactor anaerobio de lecho fluidificado, y aunque posee una capacidad de remoción del orden de 4 a 5 veces mayor que los otros reactores anaerobios, no ha sido aplicado con amplitud debido a su compleja operación.

4.3.2.3 Procesos acoplados (Anaerobio-aerobio)

Los procesos acoplados anaerobio-aerobio aumentan la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales. En la etapa anaerobia se elimina la mayor cantidad de materia orgánica en el agua residual y en la aerobia se pule el efluente anaerobio. La calidad del agua es recomendada para su reuso en riego, lavado de coches y calles e inclusive en la descarga de sanitarios, con una adecuada desinfección en todos los casos. Una de las ventajas más importantes que ofrece este tipo de acoplamiento es la disminución en más de 5 veces la producción de lodo al ser comparada ésta con la de un sistema aerobio solo, además de que el lodo producido se encuentra estabilizado.

4.3.3 Remoción de nutrientes

El contenido de nutrientes en el agua provoca problemas como la eutrofización acelerada en lagos, favorece el crecimiento de algas (por ejemplo en los tanques de descarga de sanitarios, si es que el agua se reusa en esta actividad), son tóxicos para los organismos acuáticos superiores, reduce la eficiencia de cloración del agua y algunos compuestos nitrogenados son cancerígenos tóxicos, provocando metahemoglobinemia en lactantes. Por estas razones, es necesario eliminar los nutrientes del agua residual. En el caso del reuso del agua en actividades no restringidas, este aspecto no es estrictamente necesario, aunque deseable.

Para la remoción de nutrientes es posible aplicar procesos fisicoquímicos, pero sus elevados costos y generación de lodo no fácilmente tratable, los hacen en muchos casos no recomendables. La utilización de sistemas biológicos para este objeto es lo más adecuado. Existen sistemas de tratamiento con biomasa suspendida que están capacitados para la remoción simultánea de nitrógeno y fósforo. Los sistemas con biomasa fija únicamente remueven nitrógeno. En este trabajo no se incluirán unidades de remoción de nutrientes en los trenes de tratamiento seleccionados.

4.3.4 Remoción de patógenos

La remoción de patógenos es sinónimo de desinfección. Esta es recomendable en todo efluente de una planta de tratamiento y debe ser realizada cuando el agua tratada sea destinada a reuso. En la TABLA 4.2 se comparan distintos tipos de desinfectantes.

El cloro (hipoclorito o gas), debido a la alta disponibilidad en el mercado y a la experiencia acumulada, es el desinfectante más utilizado; además de que la desinfección con luz ultravioleta y ozono no tiene un efecto residual, aspecto importante si el agua tratada no se reusa o dispone inmediatamente.

TABLA 4.2 COMPARACION CUALITATIVA DE DESINFECTANTES PARA AGUAS

CARACTERISTICA EN EL AGUA	CLORO	HIPOCLORITO DE SODIO	HIPOCLORITO DE CALCIO	DIOXIDO DE CLORO	OZONO	LUZ ULTRAVIOLETA
TOXICIDAD AL MICROORGANISMO	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
SOLUBILIDAD	BAJA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	NO EXISTE
ESTABILIDAD	ALTA	MEDIA	MEDIA	BAJA	BAJA	NO EXISTE
TOXICIDAD AL HUMANO	MUY ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
FORMACION DE COMPUESTOS TOXICOS	ALTA	ALTA	ALTA	BAJA	BAJA	NO EXISTE
PENETRACION	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	MEDIA
CORROSIVIDAD	MUY ALTA	ALTA	ALTA	MUY ALTA	MUY ALTA	NO EXISTE
ELIMINACION DE OLORES	ALTA	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA	NO EXISTE
EFICIENCIA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
RIESGO EN LA OPERACION	MUY ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	BAJO	MUY BAJO
COSTO DE OPERACION	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	BAJO	MUY BAJO
INVERSION	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	ALTO

ADAPTADO DE METCALF AND EDDY, 1991

4.3.5 Tratamiento del lodo

El origen de los lodos en una planta de tratamiento varía de acuerdo al tipo de planta y a su método de operación. En el diseño de un tratamiento de lodos es importante conocer todas las fuentes posibles de lodos en la planta de tratamiento que los genera, con el fin de poder identificar sus características y decidir el tipo de tratamiento que sería más adecuado.

Los procesos empleados en el tratamiento de los lodos son los siguientes: espesamiento, elutriación, digestión anaerobia y aerobia, acondicionamiento y deshidratación.

Para el caso de conjuntos habitacionales, es recomendable la digestión anaerobia y deshidratación, sin embargo, la digestión por vía anaerobia requiere de altos tiempos de retención, condiciones controladas de temperatura y agitación, además de que puede producir malos olores.

Para el tratamiento de lodo aerobio se recomienda una digestión aerobia, estabilización química y deshidratación (en México existe suficiente experiencia y equipo necesario para un tratamiento de este tipo).

La utilización de lechos de secado tiene el inconveniente de producir malos olores y de requerir un área extensa para su localización, sin embargo debido a la sencillez en su operación se puede manejar como una segunda opción. Se aclara que los lechos de secado no estabilizan el lodo, solamente lo deshidratan, por lo que es necesario un tratamiento, que puede ser la estabilización con cal en base seca.

4.4 Factores que influyen en la selección de un tren de tratamiento

Para la selección de los procesos de tratamiento para tratar agua residual existen parámetros importantes que influyen en la toma de la decisión y que se muestran en la TABLA 4.3.

TABLA 4.3 FACTORES A CONSIDERAR PARA LA SELECCION Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO.

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	La aplicabilidad de los procesos es evaluada con base en la experiencia de plantas operando, datos de la literatura y datos de plantas piloto. Puede ser necesario realizar pruebas en plantas piloto para determinar las condiciones de operación referentes al agua residual problema.
2. Intervalo aplicable al flujo	Los procesos se diseñan considerando un intervalo de flujo esperado.
3. Variación aplicable al flujo	En general, los procesos de tratamiento trabajan eficientemente con un flujo constante, sin embargo, se debe tener en cuenta las variaciones de flujo que pueden ser toleradas por el sistema. Si la variación del flujo es muy grande se deberá emplear un tanque regulador.
4. Características del agua residual	Las características del influente son la principal consideración para la selección de los procesos y los requerimientos para su operación. Si se emplean procesos biológicos debe considerarse la disponibilidad de nutrientes.
5. Compuestos inhibidores	Se debe conocer que compuestos son inhibidores y bajo que consideraciones afectan al proceso.
6. Cinética de reacción y selección del reactor	El tamaño del reactor se basa en la reacción cinética que gobierna el proceso. Los valores para las ecuaciones cinéticas son tomados de la práctica, la literatura y los resultados de las plantas pilotos.
7. Funcionamiento	La operación de la planta es medida en términos de la calidad del efluente, el cual se establece con los requerimientos de descarga establecidos en la legislación.
8. Tipo de subproductos	Los tipos y cantidades de los productos residuales sólidos, líquidos y gaseosos debe ser conocida o estimada. El empleo de las plantas piloto permite identificar apropiadamente los residuos generados por el sistema.

TABLA 4.3 FACTORES A CONSIDERAR PARA LA SELECCION Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO (CONTINUACION).

FACTOR	COMENTARIOS
9. Restricciones en el manejo de lodos	Algunas limitaciones que deben considerarse en el procesamiento de los lodos son el sitio de disposición final y el costo de operación y disposición. Además, se tiene que considerar el efecto de la recirculación en el sistema. La selección del sistema de tratamiento de lodos debe realizarse a la par del sistema para tratar aguas residuales o naturales.
10. Restricciones ambientales	Los factores ambientales como los vientos predominantes y la dirección del mismo, pueden restringir el uso de algunos procesos, especialmente en aquellos que generan olores. Un incremento en la temperatura afecta la rapidez de reacción de algunos procesos químicos y biológicos. Por el contrario, un decremento afecta la operación física de las unidades.
11. Requerimientos químicos	Se debe tener disponibilidad de los reactivos empleados por el sistema (proveedor y cantidad) para períodos largos de operación.
12. Requerimientos energéticos	Los requerimientos de energía, así como los costos de energía en el futuro, deben ser evaluados para el sistema durante el diseño y que impactan fuertemente los costos de operación.
13. Otros tipos de requerimientos	Se debe considerar durante el diseño el empleo de otros servicios dentro de la planta.
14. Disponibilidad	Se debe conocer si la operación del proceso es fácil y bajo que consideraciones opera, esto es, acepta variaciones de tipo hidráulica y si ocurren que tanto afectan al sistema.
15. Complejidad	Es necesario establecer el grado de complejidad de los procesos en su operación bajo condiciones normales y adversas. De esta forma se podrá establecer el nivel requerido para el personal de la planta.
16. Empleo de procesos en desuso	Debe establecerse los procesos de apoyo para el sistema.
17. Compatibilidad	Se debe establecer si los procesos usados pueden instalarse en plantas operando. Asimismo, se tiene que fijar una expansión a futuro de la planta y si se pueden modificar los procesos existentes.

5. FACTIBILIDAD TECNICA DE LOS PROCESOS SELECCIONADOS

Los criterios de selección de sistemas de tratamiento, expuestos en el capítulo anterior, permiten establecer qué procesos reúnen las características requeridas para depurar las aguas residuales a un mismo nivel de calidad. Con base en esta información, se realizó una selección preliminar de los procesos, descartando a los procesos extensivos (lagunas de tratamiento), aquellos donde no se justifique el nivel y costo de tratamiento (procesos fisicoquímicos), o aquellos cuyas bases de diseño no están aún bien establecidas (filtros biológicos sumergidos).

El propósito de evaluar técnicamente un tren de tratamiento es el 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.

En este capítulo se presentan los trenes y tablas de evaluación de tratamiento de los procesos preseleccionados: lodos activados, discos biológicos rotatorios, filtro percolador y reactor anaerobio de lecho de lodos. Finalmente se cuantifican sus eficiencias, requerimientos energéticos y se identifica de acuerdo a la calidad del efluente, el sitio de descarga permitido del efluente, eligiendo el más recomendable para ser instalado en los conjuntos habitacionales del INFONAVIT.

5.1 Trenes de tratamiento de los procesos preseleccionados

Los sistemas de lodos activados, discos biológicos rotatorios y filtro percolador, son los procesos de tratamiento considerados como los más versátiles y apropiados para el tratamiento de las descargas municipales (EPA, 1977). El uso generalizado de estos sistemas ha permitido precisar los parámetros de diseño y ha favorecido su perfeccionamiento a través del desarrollo de mejores materiales y equipos, además del desarrollo de diferentes tipos de variantes del proceso. En la TABLA 5.1 se presentan las distintas modalidades de cada uno de estos procesos.

TABLA 5.1 DISTINTAS MODALIDADES DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRESELECCIONADOS.

PROCESO	MODALIDAD DEL PROCESO	DESCRIPCION
LODOS ACTIVADOS	Convencional	El influente y los lodos ingresan al reactor en uno de sus extremos tendiendo a un flujo pistón y son mezclados por el sistema de aireación. Se dispone de un sedimentador primario (FIGURA 5.1a)
	Aireación Gradual	Similar al convencional, se distingue en el arreglo de los difusores, los cuáles se instalan próximos al influente y van incrementando su distancia en la dirección del flujo. Con ello se consigue un suministro de oxígeno gradual, de modo que sea mayor en donde más se requiere.
	Aireación en etapas	La alimentación y la recirculación de lodos se suministra en distintos puntos del tanque de aireación. El oxígeno requerido se suministra uniformemente (FIGURA 5.1b)
	Completamente mezclado	El influente y los lodos de retorno son mezclados y aplicados en distintos puntos del tanque de aireación. La demanda de oxígeno y la carga orgánica son uniformes en todo el tanque de aireación (FIGURA 5.1c).

TABLA 5.1 DISTINTAS MODALIDADES DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRESELECCIONADOS (CONTINUACION).

PROCESO	MODALIDAD DEL PROCESO	DESCRIPCION
LODOS ACTIVADOS	Aireación Extendida	Proceso similar al completamente mezclado, pero requiere de grandes tanques de aireación en donde se mantiene una alta población de microorganismos; no se requiere de sedimentador primario. El tiempo de retención hidráulico es tres veces mayor que el de las demás modalidades; por ello se recomienda para gastos menores. Una característica adicional del proceso es su baja producción de lodos, prácticamente estabilizados (aproximadamente el 32% de los lodos producidos en otras modalidades, (Harbold, 1982). Una de las variantes de la aireación extendida es la oxidación en carrusel (FIGURA 5.1d).
	Estabilización por Contacto	Los lodos activados se mezclan con el influente en un tanque relativamente pequeño en donde la materia orgánica es absorbida por los microorganismos. Los lodos son aireados en un tanque de estabilización en donde se degrada la materia orgánica (FIGURA 5.1e).
	Oxígeno Puro	El oxígeno se difunde en un tanque de aireación hermético. El gas es purgado del tanque, en el extremo opuesto del sitio en el cual ingresa el oxígeno, para liberar presión. El proceso se utiliza para altas cargas orgánicas y en donde el espacio es limitado (FIGURA 5.1f).
DISCO BIOLÓGICO ROTATORIO	Convencional	La unidad de Discos Biológicos Rotatorios se instala enseguida de un sedimentador primario. El exceso de biomasa de los discos es separado en un clarificador (FIGURA 5.2).
FILTRO PERCOLADOR	Baja tasa	Los filtros percoladores se clasifican con base en la carga hidráulica en: -baja tasa, 1 a 4 m ³ /m ² .d -media tasa, 4 a 10 m ³ /m ² .d -alta tasa, 10 a 40 m ³ /m ² .d En los filtros de baja tasa no se requiere de recirculación del efluente del clarificador. Por ello, en la configuración del sistema se omite el cárcamo de recirculación del agua (FIGURA 5.3a).
	Media y Alta	Los filtros percoladores que operan bajo esta modalidad requieren de recirculación del efluente, por tal razón requiere un cárcamo de recirculación (FIGURA 5.3b).

FUENTE: Adaptado de EPA, 1977; Gairm, 1985; Benefield, 1980.

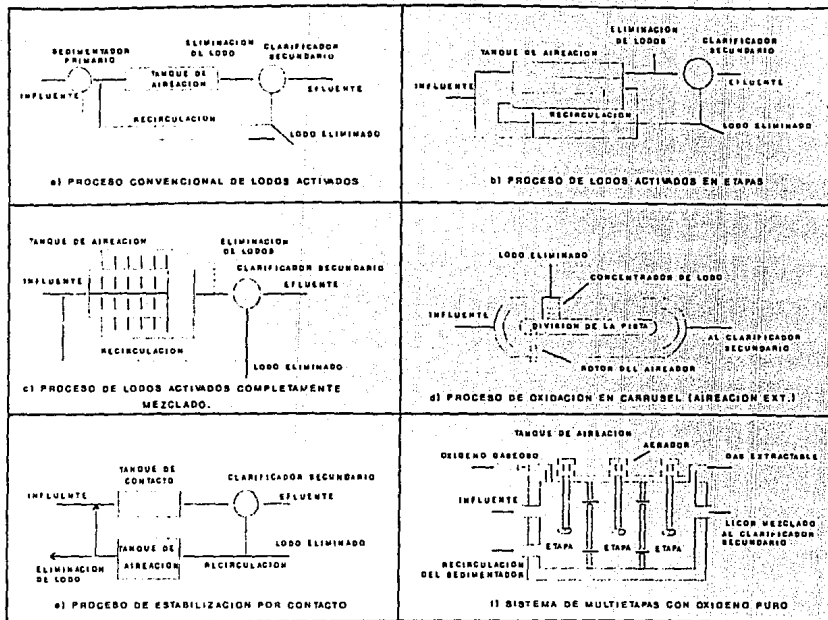
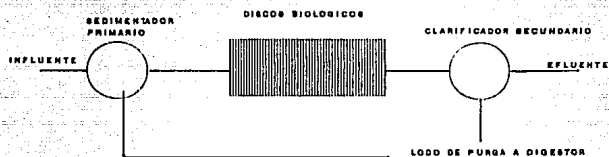
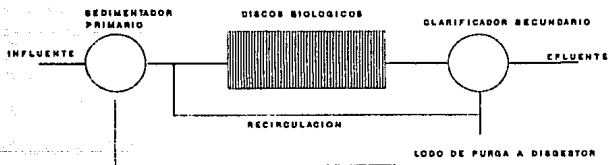


FIGURA 5.1 MODALIDADES DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.



a) Discos biológicos convencional.



b) Discos biológicos con recirculación.

FIGURA 5.2 PRINCIPALES VARIANTES DEL PROCESO DE DISCOS BIOLÓGICOS.



a) Filtro percolador de baja tasa.



b) Filtro percolador de media y alta tasa.

FIGURA 53 PRINCIPALES VARIANTES DEL PROCESO DE FILTRO PERCOLADOR.

Con objeto de estimar y comparar las eficiencias que se obtienen con cada uno de los trenes de tratamiento, los volúmenes de residuos que generan y sus requerimientos energéticos, todos los trenes de tratamiento fueron diseñados considerando una población de 5,000 habitantes (promedio de las Unidades Habitacionales del INFONAVIT), con un factor de descarga de 160 L/hab.d (capacidad del sistema de 800 m³/d) y como parámetros de calidad de la descarga de aguas residuales concentraciones de 200 mg/L de DBO y 220 mg/L de SST.

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

- a) rejillas; separan de las aguas residuales aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar las bombas, o interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento.
- b) canal desarenador; tiene como objeto el evitar el paso de arenas al cárcamo de bombeo para reducir la abrasión en los impulsores. Además reduce la cantidad de sólidos sedimentables que azolvan el cárcamo de bombeo, con lo cual se disminuye el servicio de mantenimiento a esta unidad.
- c) cárcamo de homogeneización y bombeo; permite homogeneizar la calidad del influente y regular las variaciones de flujo, de manera que las condiciones bajo las cuales operen los reactores varíen lo menos posible. Además, en esta estructura se deriva el posible flujo excedente producto de aquellas tormentas que ocasionen intrusión del agua de lluvia al drenaje sanitario.
- d) unidad de desinfección; tiene por objeto, reducir el número de microorganismos, a fin de satisfacer los parámetros microbiológicos de calidad del efluente.

5.1.1 Aireación Extendida

El proceso de lodos activados en su modalidad de aireación extendida presenta como ventajas, sobre los procesos de su tipo:

- Una producción de cuatro a cinco veces menor de lodos (0.1 kg de lodos/ kg de DBO removida), lo cual abate considerablemente los costos de tratamiento y manejo de estos (Harbold, 1982).
- Se pueden diseñar sistemas de este tipo, que operen en un intervalo de concentraciones de DBO en el influente de 75 mg/L hasta 300 mg/L, siendo éste el que más se adecua a las variaciones características de las aguas residuales "medias" de tipo doméstico.

Por lo anterior, la aireación extendida se considera como la variante más favorable del proceso de lodos activados para tratar caudales menores o iguales a 800 m³/d (EPA, 1977). En la FIGURA 5.4 se muestra el esquema del tren de tratamiento de este sistema y en la TABLA 5.2 se presentan los factores a considerar en la evaluación del proceso de aireación extendida.

5.1.2 Discos Biológicos Rotatorios

Las variantes de los procesos de discos biológicos rotatorios y filtros percoladores (ambos sistemas de tratamiento de biomasa fija) que no requieren recirculación, son menos complejos en su operación, por ello son más recomendables. En la FIGURA 5.5 se muestra el esquema del tren de tratamiento de discos biológicos y en la TABLA 5.3 se presentan los factores a considerar en la evaluación del proceso.

5.1.3 Reactor UASB-filtro percolador

En estudios realizados, con respecto a los filtros percoladores (Lucero, 1992), se reporta que en 7 filtros percoladores que operan en México, se obtienen en promedio un 75% de eficiencia de remoción de DBO. Este nivel de eficiencia requiere ser incrementado si se desea alcanzar el nivel de calidad apropiado para reuso del efluente en actividades que involucren riesgo de contacto directo. Pese a esto, dicho sistema no puede ser descartado debido a su simplicidad de operación y bajos costos de operación y mantenimiento.

Con objeto de incrementar la eficiencia de los filtros percoladores se propone un sistema acoplado de tratamiento a anaerobio-aerobio (UASB-Filtro Percolador). En teoría es factible técnicamente la combinación de los dos procesos, ya que la carga orgánica de salida del reactor UASB está por encima del límite inferior recomendado para los filtros percoladores de baja tasa ($0.08 \text{ kg DBO/m}^3 \cdot \text{d}$). Con este arreglo se puede alcanzar el nivel de eficiencia de tratamiento para que la concentración de DBO en el efluente no exceda 20 mg/L .

El tren de tratamiento acoplado no involucra mayores costos energéticos o requerimientos de operación ya que la descarga del UASB se encuentra a una altura de 6 m presentándose una carga hidráulica tal que favorece el flujo por gravedad. En la FIGURA 5.6 se presenta un esquema del sistema y en la TABLA 5.4 se muestran los factores a considerar en la evaluación del sistema.

5.1.4 Reactor UASB

La calidad del efluente que se obtiene mediante la aplicación de los procesos anteriores, permite su reuso en actividades que involucren riesgo de contacto directo y en consecuencia cumple también con los requerimientos para riego agrícola o su disposición en drenaje. Sin embargo, para el caso en que sólo se requiera el primer nivel de calidad (riego agrícola y disposición en drenaje TABLA 1.3 y 1.4), la digestión anaerobia es una alternativa de tratamiento más recomendable, ya que permite a menores costos cumplir con este nivel.

El reactor UASB por su simplicidad de operación, bajos tiempos de retención hidráulica y aceptables eficiencias, es considerado como la mejor alternativa de tratamiento anaerobio; por ello, es el proceso que se recomienda para el tratamiento de descargas de aguas residuales cuando se requiera cumplir sólo con el primer nivel de calidad.

Es importante mencionar que el ámbito de aplicación del reactor UASB se restringe en función de la temperatura y de la concentración del agua residual. En términos generales, se puede establecer que el UASB es adecuado en regiones de clima cálido y semicálidos con inviernos frescos, en donde la temperatura media no descienda por debajo de los 18°C y cuando la concentración de DBO se encuentre no arriba de 150 mg/L. En la FIGURA 5.7 se presenta el esquema del tren de tratamiento propuesto y en la TABLA 5.5 se muestran los factores a considerar en la evaluación del sistema.

5.2 Resultados de la factibilidad técnica

En la TABLA 5.6 se presentan las características básicas de los trenes de tratamiento configurados. Los costos energéticos por metro cúbico de agua tratada se estimaron en función de la energía eléctrica consumida por la potencia requerida del equipo

electromecánico de los sistemas. En este rubro, el reactor UASB es el más económico; sin embargo, su aplicación se limita a la obtención de un efluente apto para descarga a drenaje o riego agrícola. Es importante señalar que los lodos que se producen en este sistema se encuentran suficientemente estabilizados, por lo que sólo se requiere eliminar parcialmente el agua que contienen para facilitar su manejo y disposición.

Entre los sistemas de tratamiento secundario (AE, DBR, U-FP) no se aprecia en la calidad del efluente diferencias significativas. Las diferencias se establecen en lo que respecta a sus requerimientos energéticos y el volumen de subproductos que generan.

En el sistema de discos biológicos rotatorios se producen dos veces más lodos que en la aireación extendida; además a diferencia de éstos últimos, los lodos generados en el sistema de discos biológicos no se encuentran estabilizados, por tanto, requieren ser tratados.

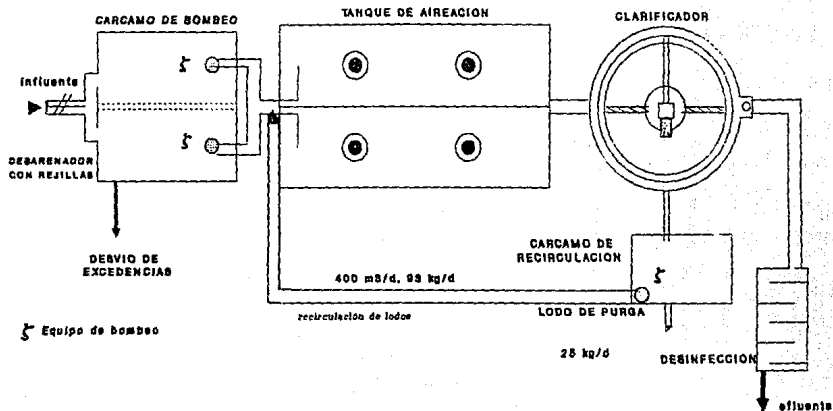
Si se considera que el proceso de aireación extendida es más complejo en su operación por requerir control de biomasa y oxígeno en el tanque de aireación, se puede concluir que esta alternativa de tratamiento no es recomendable en forma general.

De las opciones de tratamiento secundario, el sistema acoplado (UASB-Filtro Percolador) presenta como ventajas el menor costo energético y baja producción de lodo estabilizado, por tanto resulta la mejor alternativa; sin embargo, es necesario que este sistema pruebe su bondad en campo.

Cabe señalar que cualquiera de los sistemas anteriores pueden producir efluentes con características aceptables para descarga a cuerpos de agua, siempre que se les incorpore unidades de tratamiento que remuevan nutrientes.

Q = 800 m³/d

C.O. = 100 kg/d	288	21
DBO = 200 mg/L	211	17
SS = 220 mg/L	232	20



EFICIENCIA GLOBAL: 92%
GENERACION DE SUBPRODUCTOS
Lodos: 22 kg/d

CALIDAD DEL EFLUENTE: RIEGO AGRICOLA; REUSO QUE INVOLUCRE RIESGO DE CONTACTO DIRECTO (RIEGO DE AREAS VERDES).

FIGURA 5.4 TREN DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE AIREACION EXTENDIDA.

TABLA 5.2 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS EN SU MODALIDAD DE AIREACION EXTENDIDA.

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	Lodos activados en su modalidad de aireación extendida es la variante más versátil en el tratamiento biológico. Se dispone de información proveniente de pruebas piloto, escalamiento y condiciones de operación para diferentes tipos de agua residual.
2. Intervalo aplicable al flujo	Este tipo de sistemas se considera como la variante más favorable del proceso de lodos activados para tratar caudales menores o iguales a 800 m ³ /d, (EPA, 1977) y se han instalado sistemas para poblaciones de hasta 20,000 habitantes (3,200 m ³ /d).
3. Variación aplicable al flujo	Es capaz de soportar variaciones de flujo de hasta el 150% y son tolerados por el sistema. Además de que se observado un buen funcionamiento para concentraciones de entre 60 y 300 mgDBO/L en el influente. Es recomendable contar con un cárcamo regulador u homogeneizador.
4. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica típica (TABLA 3.2), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
5. 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 desgrasador/desnatador antes del ingreso del influente al tanque de aireación.
6. Area disponible	Depende del caudal de diseño por tratar; sin embargo, la planta de tratamiento con este sistema ocupa muy poco espacio comparado con lagunas de oxidación y un espacio semejante con otros procesos aerobios.

TABLA 5.2 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS EN SU MODALIDAD DE AIREACION EXTENDIDA (CONTINUACION).

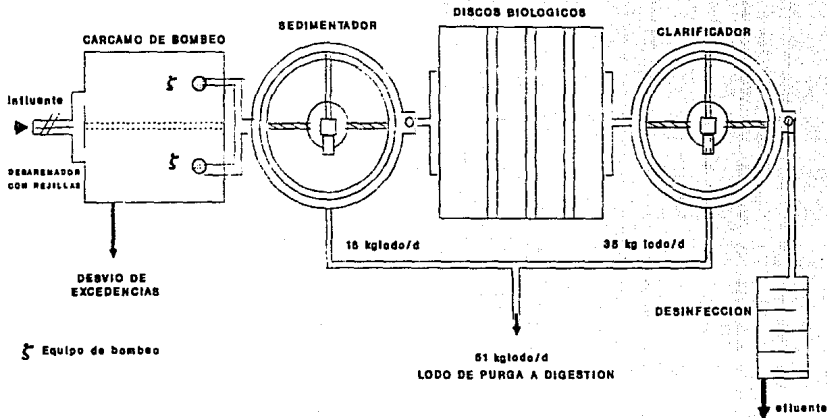
FACTOR	COMENTARIOS
7. Cinética de reacción y selección del reactor	Se disponen de valores para las ecuaciones cinéticas, tomados de la práctica, resultados en plantas piloto y la literatura. En la selección del reactor se prefieren los tanques rectangulares de concreto armado. Si se exceden los 140 m ³ de volumen, conviene separar en dos o más tanques. La profundidad de los tanques varían entre 3 y 5 m. La relación anchura-profundidad puede variar entre 1:1 y 2.2:1, esto limita la anchura del tanque entre 6 y 12 m.
8. Funcionamiento	Eficiencia Global del Sistema: 92% Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y para reuso con riesgo de contacto con un postratamiento (desinfección). Para disposición en cuerpos de agua, es necesario evaluar la capacidad de dilución del cuerpo receptor y el volumen y concentración de la descarga.
9. Tipo de subproductos	Una producción de cuatro a cinco veces menor de lodos (0.1 kg de lodo/kg DBO removida) comparado con las demás variaciones de lodos activados, además de encontrarse parcialmente digeridos.
10. Restricciones en el manejo de lodos	El lodo producido puede ser enviado a digestores aerobios para su completa estabilización y reducción de volumen, o bien directamente para ser dispuesto en lechos de secado para su deshidratación y finalmente disponer de ellos en rellenos sanitarios.
11. 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.

TABLA 5.2 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS EN SU MODALIDAD DE AIREACION EXTENDIDA (CONTINUACION).

FACTOR	COMENTARIOS
12. Requerimientos químicos	Ninguno.
13. 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 eléctrica.
14. Requerimientos de personal	Se requiere de personal calificado y con experiencia en la operación de este tipo de sistemas. Los requerimientos de personal aumentan de acuerdo a la capacidad de tratamiento de la planta.
15. Complejidad de construcción y equipamiento	Este tipo de sistemas requieren de mayor cantidad de equipo y elementos constructivos, sin embargo, la amplia experiencia en la construcción y equipamiento de estos sistemas reducen la problemática de este factor.
16. Complejidad en operación	Es compleja su operación debido principalmente a que existen variables como el caudal que ingresa, relación F/M, recirculación de lodos, cantidad de lodos a ser evacuados, que deben ser controladas. Aunados a los altos requerimientos energéticos se convierten en dos de las principales desventajas del sistema.
17. Solidez en los criterios de diseño	Existe uniformidad y consistencia en los valores reportados en la literatura.
18. Instrumentación y control	Es un sistema que idealmente requiere de instrumentación y control avanzado, aunque el control es posible sustituirlo por la experiencia de los operadores, después de la etapa de arranque y conocimiento de la planta.

Q = 800 m³/d

C.O. = 160 kg/d	160	128	11
DBO = 200 mg/L	200	160	14
SS = 220 mg/L	220	88	20



EFICIENCIA GLOBAL: 93%
GENERACION DE SUBPRODUCTOS
Lodos: 51 kg/d

CALIDAD DEL EFLUENTE: RIEGO AGRICOLA; REUSO QUE INVOLUCRE RIESGO DE CONTACTO DIRECTO.

FIGURA 5.5 TREN DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE DISCOS BIOLÓGICOS.

TABLA 5.3 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS.

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	Los Discos Biológicos Rotatorios (DBR) es un proceso biológico aerobio de tratamiento de aguas residuales domésticas e Industriales. Se dispone de información proveniente de pruebas piloto, escalamiento y condiciones de operación. En México actualmente se implementa el sistema con éxito.
2. Intervalo aplicable al flujo	Es capaz de tratar caudales medios, aunque se han desarrollado plantas paquete para flujos entre 4 y 50 m ³ /d
3. Variación aplicable al flujo	Cuando existen cargas orgánicas bajas (7 kgDQO/d.1000 m ²), se observa una disminución notable en la cantidad de biomasa en la superficie de los discos debido al desprendimiento masivo de la película biológica. Experimentalmente, se ha encontrado que, cuando existe una sobrecarga orgánica, el biodisco tiene problemas de operación (anaerobiosis). En plantas pequeñas (menores de 800 m ³ /d), es preferible contar con un cárcamo de homogeneización.
4. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica (TABLA 3.2), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
5. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Es posible esperar que el sistema de DBR funcione satisfactoriamente en presencia de metales pesados, grasas, aceites y aguas salinas, y produzca efluentes con la calidad deseada para un proceso secundario.
6. Area disponible	Dependerá del caudal de diseño por tratar; sin embargo, el tiempo de retención hidráulica en un DBR es menor de 60 minutos mientras que para un proceso de lodos activados convencional es de 6 horas, por lo que permite el uso de reactores con un menor volumen para tratar un caudal mayor en un tiempo equivalente.

TABLA 5.3 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS (CONTINUACION).

FACTOR	COMENTARIOS
<p>7. Cinética de reacción y selección del reactor</p>	<p>El proceso de Discos Biológicos Rotatorios contempla cinéticas de reacción de primer orden para la remoción de DBO carbonáceo y oxidación de nitrógeno amoniacal; esto significa que a una carga hidráulica específica se logrará una eficiencia porcentual de remoción de DBO, independiente de la carga orgánica. Sin embargo, como el proceso involucra tres fases líquido-sólido-gas, no se ha podido desarrollar un modelo matemático que lo represente satisfactoriamente, por ello el diseño se sigue basando en forma importante en la experiencia del Ingeniero.</p> <p>El sistema opera con una película biológica adherida; por tanto, es fundamental proveerlo del área necesaria para el crecimiento de los microorganismos responsables del tratamiento. El área superficial representa el "tamaño del reactor" y es el parámetro de diseño que debe ser especificado con menor incertidumbre.</p> <p>La experiencia ha mostrado que el número de etapas depende del tipo de aguas por tratar y de la calidad deseada, y que en general, cuatro etapas son suficientes.</p>
<p>8. Funcionamiento</p>	<p>Eficiencia Global del Sistema: 93%</p> <p>Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y para reuso con riesgo de contacto (con desinfección del efluente). Para disposición en cuerpos de agua, es necesario evaluar la capacidad de dilución del cuerpo receptor y el volumen y concentración de la descarga. Bajo condiciones adecuadas, en el DBR se lleva a cabo la nitrificación, particularmente en la última etapa.</p>
<p>9. Tipo de subproductos</p>	<p>El lodo producido por los DBR es similar al lodo del filtro percolador y la cantidad es de 0.4 a 0.5 kg lodo/kg de DBO removida.</p>

TABLA 5.3 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS (CONTINUACION).

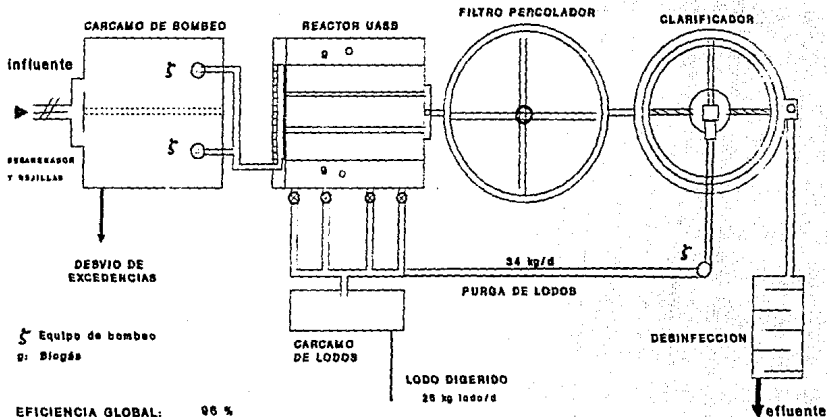
FACTOR	COMENTARIOS
10. Restricciones en el manejo de lodos	Este factor es uno de los mayores problemas en el DBR, ya que el lodo generado no se encuentra completamente digerido y su disposición final sin tratamiento representaría una exportación de contaminantes por lo que es necesario un tratamiento de lodos. Se recomienda un tratamiento aerobio.
11. Restricciones ambientales	La existencia de malos olores y molestias por ruido son nulos en estos sistemas. Cuando el agua residual es tratada entre 12 y 32°C. la operación se lleva a cabo en forma satisfactoria. Si la temperatura es menor de 12°C, la eficiencia de tratamiento decrecerá significativamente. A más de 32°C, la población bacteriana cambia de mesófila a termófila y este último tipo de bacterias es menos eficaz en la eliminación de contaminantes.
12. Requerimientos químicos	Ninguno
13. Requerimientos energéticos	Una de las principales ventajas de los DBR sobre otros tratamientos biológicos aerobios de aguas residuales, es el bajo consumo de energía. Comparado con un proceso de aireación extendida, el DBR requiere del 30 al 50% menos potencia.
14. Requerimientos de personal	Debido a la simplicidad en la operación y mantenimiento de este sistema de tratamiento, los requerimientos de personal, grado de calificación y experiencia, son mínimos, y están en función de la capacidad de tratamiento de la planta.
15. Complejidad de construcción y equipamiento	<p>El diseño mecánico del sistema debe ser riguroso, pues se han registrado varios casos de rompimiento y desanclaje de la flecha que soporta los discos. Además para efectuar la instalación, generalmente se requieren grúas y personal especializado. Además de la difícil fabricación de los biodiscos con hojas corrugadas de polietileno (aunque ya existen fabricantes nacionales).</p> <p>El Disco Biológico Rotatorio consiste básicamente del mecanismo rotor, discos de polietileno o poliestireno montados en un eje de acero, tanque que contiene los discos y cubierta protectora. En pequeñas instalaciones este equipamiento es suministrado por plantas paquete previamente ensambladas. En instalaciones mayores se prefieren construir tanques de concreto y cubiertas resistentes a la luz ultravioleta.</p>

TABLA 5.3 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS (CONTINUACION).

FACTOR	COMENTARIOS
16. Complejidad en operación	Una de las principales ventajas del biodisco es la simplicidad en la operación y mantenimiento.
17. Solidez en los criterios de diseño	Existen métodos que utilizan información con biodiscos en operación y ordena, en forma de correlaciones empíricas, algunas variables de diseño. El procedimiento sólo es aplicable a aguas residuales de tipo doméstico con concentraciones inferiores o iguales a 150 mg/L de DBO soluble y 30 mg/L de nitrógeno amoniacal. Para concentraciones mayores que éstos valores límite, no existen datos que permitan efectuar el diseño empírico; por tanto, se debe seguir algún método riguroso.
18. Instrumentación y control	El proceso de Discos Biológicos Rotatorios es estable bajo condiciones fluctuantes de carga orgánica e hidráulica, por lo que nos se requiere de recirculación de lodo. Esta estabilidad simplifica la operación y elimina la necesidad de control en la operación e instrumentación.

Q = 800 m³/d

C.O. = 180 kg/d	180	40	6
DBO = 200 mg/L	200	50	8
SS = 220 mg/L	220	40	10



Equipos de bombeo
g: Biogas

EFICIENCIA GLOBAL: 96 %
GENERACION DE SUBPRODUCTOS

LODOS: 25 kg/d GAS: 78.8 m³/d

CALIDAD DEL EFLUENTE: RIEGO AGRICOLA; REUBO QUE INVOLUCRE RIESGO DE CONTACTO DIRECTO (RIEGO DE AREAS VERDES).

FIGURA 56 TREN DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA ACOPLADO ANAEROBIO-AEROBIO (UASB-FILTRO PERCOLADOR).

ESTA TESIS NO DEBE
 SER REPRODUCIDA
 SIN EL ASIENTO DE LA
 FACULTAD DE INGENIERIA

TABLA 5.4 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO ACOPLADO ANAEROBIO-AEROBIO (REACTOR UASB-FILTRO PERCOLADOR).

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	El sistema acoplado anaerobio-aerobio UASB-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. No se dispone de pruebas a nivel piloto, escalamiento y datos de operación de este sistema.
2. Intervalo aplicable al flujo	Este tipo de sistemas es capaz de tratar caudales de 160 m ³ /d a 8,000 m ³ /d.
3. Variación aplicable al flujo	Es capaz de soportar cargas orgánicas desde 17.6 g DBO/hab.d hasta 64 g DBO/hab.d, límites del intervalo del agua residual doméstica; sin embargo, es de esperar una mejor operación a mayores cargas orgánicas. Es importante contar con un cárcamo de homogeneización para regular variaciones de flujo.
4. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica (TABLA 3.2), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
5. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en el agua residual doméstica típica y dado el caso de que existieran se tendrían problemas con la disposición de lodos. Las grasas y aceites no deben exceder 200 mg/L ya que afectan el funcionamiento del reactor, por lo que se recomienda eliminarlos antes del ingreso del influente al reactor.
6. Area disponible	Dependerá del caudal de diseño, sin embargo, el tiempo de retención del sistema es de 8 horas, las alturas de los reactores son de 6 m para el reactor UASB y 5 m para el filtro percolador, minimizando el volumen requerido. Este sistema ocupa poco espacio.

TABLA 5.4 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO ACOPLADO ANAEROBIO-AEROBIO (REACTOR UASB-FILTRO PERCOLADOR) (CONTINUACION).

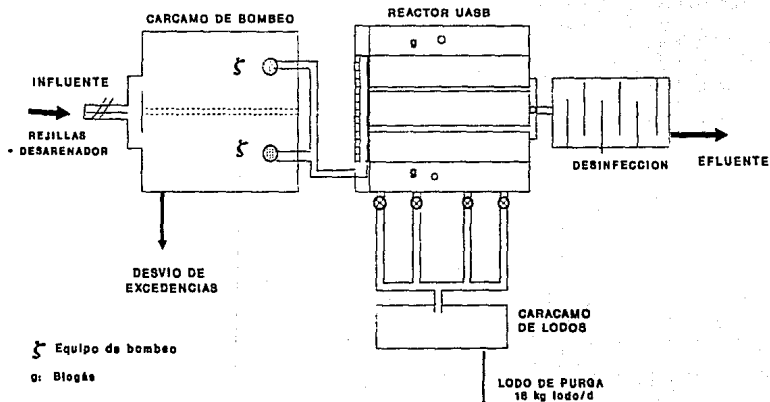
FACTOR	COMENTARIOS
7. Cinética de reacción y selección del reactor	Se dispone de valores para las ecuaciones cinéticas tomados de la práctica, resultado de investigación de los procesos por separado; sin embargo, no se ha experimentado con el sistema acoplado.
8. Funcionamiento	Eficiencia Global del Sistema: 96% Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y para reuso con riesgo de contacto con un postratamiento (desinfección).
9. Tipo de subproductos	Existen dos tipos de subproductos, biogás y lodo anaerobio. La producción de biogás es de 150 L _{NTP} gas/kg DQO _{inf} . La generación de lodos anaerobios es de 0.15 kg SST/kg DQO _{inf} . En este sistema, los lodos aerobios provenientes del filtro percolador son recirculados al reactor UASB, disminuyendo un 60% la producción de lodos aerobios, transformándolos en lodos anaerobios con mayor grado de estabilización.
10. Restricciones en el manejo de lodos	El lodo producido ya digerido puede ser dispuesto sin riesgo otro que el contenido de patógenos, o bien puede ser almacenado y utilizado como inóculo.
11. Restricciones ambientales	No se han identificado problemas causados por desprendimiento de malos olores. Con objeto de tener total seguridad, el reactor UASB se debe de dotar de sistemas de recolección, venteo o quemadores de biogás para evitar malos olores. El intervalo mínimo de temperatura del agua residual es de 16 a 20°C. El proceso se ve favorecido por un aumento de la temperatura hasta 35°C.
12. Requerimientos químicos	Ninguno

TABLA 5.4 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO ACOPLADO ANAEROBIO-AEROBIO (REACTOR UASB-FILTRO PERCOLADOR) (CONTINUACION).

FACTOR	COMENTARIOS
13. Requerimientos energéticos	Este factor es mínimo al requerirse únicamente de equipo de bombeo para vencer la carga hidráulica y lograr que el flujo sea ascendente en el reactor UASB; con ello se permite que el filtro percolador opere por gravedad.
14. Requerimientos de personal	No se requiere de personal calificado para la operación de este tipo de sistemas, una vez que se haya arrancado y estabilizado el reactor UASB.
15. Complejidad en construcción y equipamiento	El sistema es relativamente complejo, debido a que es necesario construir, acoplar y equipar dos reactores, cada uno con sus propias características.
16. Complejidad en operación	Una de las ventajas del sistema es la simplicidad en la operación.
17. Solidez de los criterios de diseño	Existe uniformidad y consistencia en los valores reportados de los reactores por separado, mientras que como sistema acoplado no, siendo una de las desventajas del sistema.
18. Instrumentación y control	Debido a las bajas cargas orgánicas que se manejan en esta aplicación no son necesarios: medidores de temperatura, pH y medidores para la producción y composición de biogás. Para el filtro percolador es necesario controlar el sistema de distribución y de recirculación de lodos.

Q = 800 m³/d

C.O. = 180 kg/d	180	40
DBO = 200 mg/L	200	50
SS = 220 mg/L	220	40



EFICIENCIA GLOBAL: 75 %

GENERACION DE SUBPRODUCTOS:

LODOS: 18 kg/d GAS: 60 m³/d

CALIDAD DEL EFLUENTE : DRENAJE O RIEGO AGRICOLA.

FIGURA 5.7 TREN DE TRATAMIENTO DEL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS, (UASB).

TABLA 5.5 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE, (UASB).

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los procesos	El reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente, UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), pertenece a la llamada "segunda generación" y es por lo tanto un reactor anaerobio avanzado. Esta tecnología es extensamente empleada para desechos líquidos industriales en Europa y en países americanos como Brasil, Cuba, Colombia. En México actualmente se realizan pruebas piloto, escalamiento y se comienzan a obtener valores de condiciones óptimas de operación a pequeña y gran escala. Este tipo de procesos es aplicable a efluentes domésticos e industriales.
2. Intervalo aplicable al flujo	Este tipo de sistemas es considerado como el más versátil de los procesos anaerobios, es capaz de tratar caudales de hasta 100,000 m ³ /d. Se han instalado y escalado sistemas para tratar efluentes de casa-habitación.
3. Variación aplicable al flujo	Este tipo de reactores, soporta variaciones de flujo, siempre que la velocidad ascendente no exceda 1.2 m/h, debido a que se lavaría la cama de lodos. Es recomendable contar con un cárcamo de homogeneización.
4. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica (TABLA 3.2), que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una adecuada operación del sistema, aunque es preferible contar con aguas de mayor contenido de materia orgánica.
5. Compuestos inhibidores y que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en el agua residual doméstica típica y dado el caso de que existieran se tendrían problemas con la disposición final de lodos. Las grasas y aceites no deben exceder de 200 mg/L en el influente, ya que se afecta el funcionamiento del reactor, por lo que se recomienda eliminarlos antes del ingreso del influente al reactor.

TABLA 5.5 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE, UASB (CONTINUACION).

FACTOR	COMENTARIOS
6. Area disponible	Dependerá del caudal de diseño por tratar y de las condiciones climáticas; el ahorro en volumen de reactor, comparado con sistemas aerobios, es del 50%, debido a que la altura del reactor es típicamente de 6 m.
7. Cinética de reacción y selección del reactor	Se disponen de valores para las ecuaciones cinéticas tomados de la práctica, resultados en plantas piloto y literatura. El desarrollo tecnológico, microbiológico y cinético del proceso, ha permitido el diseño de equipos que pueden competir con otras alternativas. Para concentraciones DQO < 1000 mg/L, generalmente el diseño se basa en la carga hidráulica (velocidad ascendente), para aguas más concentradas, el diseño se fundamenta en la carga orgánica.
8. Funcionamiento	Eficiencia Global del Sistema: 75% Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje y riego agrícola (incluyendo desinfección).
9. Tipo de subproductos	Existen dos tipos de subproductos, biogás y lodo anaerobio. La producción de biogás es de 150 L _{NT} gas/kg DQO _{NT} , con una composición promedio de 70% de CH ₄ , 8% de CO ₂ , y 22% de N ₂ . La producción de lodo anaerobio es de 0.15 kg SST/kg DQO _{NT} , con mayor grado de estabilización que el producido por un proceso aerobio.
10. Restricciones en el manejo de lodos	El lodo producido puede ser dispuesto sin ningún riesgo. O bien, puede ser almacenado y utilizado como inóculo.

TABLA 5.5 FACTORES A CONSIDERAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE, UASB (CONTINUACION).

FACTOR	COMENTARIOS
11. Restricciones ambientales	No se consideran problemas causados por desprendimiento de malos olores. Se deben dotar de sistemas de recolección, venteo o quemadores para evitar el mal olor. Se ha identificado que el intervalo de temperatura óptima de operación de los reactores UASB es de 30°C a 40°C (etapa mesofílica). Sin embargo, se han operado reactores a temperaturas de 18°C a 25°C obteniendo eficiencias de remoción en DQO de hasta del 75%.
12. Requerimientos químicos	Ninguno.
13. Requerimientos energéticos	Requiere únicamente equipo de bombeo para vencer la carga hidráulica y que el flujo sea ascendente.
14. Requerimientos de personal	No se requiere de personal calificado para la operación de este tipo de sistemas, una vez que se haya arrancado y estabilizado el reactor.
15. Complejidad en construcción y equipamiento	Generalmente los reactores son tanques rectangulares (construcción en concreto) o cilíndricos (acero inoxidable o plásticos reforzados), es posible emplear diseños modulares. Los materiales de construcción deben ser resistentes a la corrosión. Debido a la distribución de flujo y a la recolección de gas, la construcción es relativamente compleja.
16. Complejidad en operación	La simplicidad en la operación, es una de las mayores ventajas del proceso. Únicamente se debe mantener el pH en una zona de operación adecuada.
17. Solidez en los criterios de diseño	Existe uniformidad y consistencia en los valores reportados en la literatura para este tipo de efluentes.
18. Instrumentación y control	Debido a la baja carga orgánica del agua residual no se requieren: medidores de temperatura, pH y de medidores para la producción y composición del biogás.

TABLA 5.6 CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, (PARA 800 M³/d).

SISTEMA DE TRATAMIENTO SELECCIONADO	EFICIENCIA GLOBAL (RBO)	CALIDAD DEL EFLENTE			GENERACION DE Lodos kg/d	DESTINO DEL EFLENTE		
		CO kg/d	DBO mg/L	SS mg /L		IRREGARJE; RIEGO AGRICOLA	RESUS EN ACTIVIDADES QUE INVOLUCREN RIESGO DE CONTACTO DIRECTO	DESCARGA A CUERPOS DE AGUA
TRATAMIENTO ANAEROBIO REACTOR CASB	75	40	50	40	18	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
LADOS ACTIVADOS (AIREACION EXTENDIDA) AE	92	21	17	20	22	CUMPLE	CUMPLE	REQUIERE REMOCION DE NUTRIENTES
DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS DBR	93	11	14	20	51	CUMPLE	CUMPLE	REQUIERE REMOCION DE NUTRIENTES
TRATAMIENTO COMBINADO UASB-PERCOLADOR U-FP	96	6	8	10	25	CUMPLE	CUMPLE	REQUIERE REMOCION DE NUTRIENTES

6. FACTIBILIDAD ECONOMICA DE LOS PROCESOS SELECCIONADOS

La planificación preliminar de los proyectos de tratamiento de aguas, incluyendo la selección final de los componentes del tratamiento y los arreglos para el financiamiento, se deben basar en datos confiables de costos. Esta clase de datos son difíciles de obtener en los países en desarrollo, particularmente en aquellas regiones donde las instalaciones de tratamiento de agua se están construyendo por primera vez. En estos casos, la estimación razonable de costos de construcción, operación y mantenimiento se pueden obtener directamente utilizando: 1) datos de costos para plantas similares construidas en otras regiones con características semejantes, 2) curvas generales de costos basadas en los costos de una variedad de plantas construidas dentro del país o 3) ecuaciones generales predictivas de costos desarrolladas para situaciones similares. 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.

Los propósitos al 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 y 3) proporcionar pautas financieras para la toma de decisiones respecto a los sistemas de tratamiento de aguas residuales a ser seleccionados.

Existen numerosos factores que afectan los costos del tratamiento del agua, aparte de la capacidad de la planta (Q), como: 1) tipo de planta, 2) costos locales de materiales y mano de obra, 3) criterios de diseño (los diseños más conservadores conducen a componentes más grandes y costos mayores, 4) ubicación geográfica, 5) transportación, 6) condiciones climáticas, 7) nivel de competencia entre los contratistas de construcción y 8) tiempo de entrega de componentes críticos. Un factor importante que debe ser considerado, es el costo del equipo y materiales que se tienen que importar. Obviamente no sería factible incorporar todos estos factores en una estimación preliminar de costos para un proyecto particular; no obstante, se deben de considerar todas las condiciones conocidas que afectarán sustancialmente el costo de un proyecto y ajustar adecuadamente los datos de costos.

Un punto de importancia que debe de tomarse en cuenta, sobre todo por la situación económica actual de México, es el factor de *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 en la toma de decisiones para seleccionar el tipo de tratamiento aplicable a las aguas residuales, se haga conjuntamente un estudio de preinversión, para que con base en él se elija al sistema de tratamiento más conveniente.

En este trabajo, se presenta la factibilidad económica de los procesos que incluyen en su tren de tratamiento, reactor UASB, aireación extendida, discos biológicos rotatorios o reactor UASB-filtro percolador, como resultado de una selección que satisfaga las

necesidades de conjuntos habitacionales, para poblaciones de 1,000 a 15,000 habitantes.

6.1 Estudio de preinversión de un sistema de tratamiento de aguas residuales

El estudio de preinversión es la fase de investigación y estudio de factibilidad económica de una futura inversión en un sistema de tratamiento de aguas residuales y comprende las siguientes etapas:

- Estudio del efluente contaminante y su análisis económico

El estudio del efluente es el primer paso para la realización de un proyecto de tratamiento de aguas residuales. Este comprende la determinación de las características del efluente y la medición del gasto. Posteriormente con base en estos datos, se eligen los procesos más adecuados para su tratamiento y se estima el tamaño del equipo y de la planta requerida (CAPITULO 5).

Una vez que se tiene la información anterior, se realiza una evaluación costo-beneficio con lo cual se pretende conocer a grandes rasgos el costo global del tratamiento y los beneficios que aportará, justificando la selección del proyecto.

En resumen, la información requerida para la realización del estudio del efluente contaminante y su análisis económico es la siguiente:

- Características del efluente
- Procesos de tratamiento y dimensionamiento
- Inversión estimada
- Beneficios esperados

Con esta información se elabora un documento denominado Perfil del Proyecto de Inversión. El factor de riesgo de inversión de esta etapa es del 45%, por lo que se requiere de la realización de etapas subsecuentes para disminuir este riesgo. Los estudios de factibilidad de *Ingeniería Básica y de Detalle* disminuyen el riesgo de inversión; en el presente estudio no se realizan éstas, por considerarse estudios específicos para un proyecto determinado.

Para conocer los factores inversión estimada y operación y mantenimiento, se realizaron curvas de costos (de inversión, de requerimientos energéticos, de personal, y por desinfección) en función de caudales (Q) determinados y para los sistemas de tratamiento previamente seleccionados (Reactor UASB, Aireación Extendida, Discos Biológicos Rotatorios y Sistema acoplado anaerobio-aerobio UASB-Filtro Percolador).

Para ser válida la estimación de costos, la información sobre estos debe reflejar los precios vigentes en el momento de su uso. Esto puede hacerse si se conoce en que año (u otro punto de referencia temporal) se recopiló la información disponible. El reajuste a precios actuales se hace mediante el uso de índices de costos.

Existen una serie de fuentes para los índices de costos. Los proporcionados por la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA), cuya información se basa en varios años de experiencia práctica, incluyen costos de inversión y de operación y mantenimiento.

En la TABLA 6.1 se muestran los índices de la EPA, desde 1975 a la fecha. Si bien, se les considera adecuados 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 CONSTRUCCION Y OPERACION/MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SEGUN LA AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (EPA).

AÑO	CONSTRUCCION	OPERACION 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*

* ESTIMADOS EN BASE AL COMPORTAMIENTO DE LOS INDICES ANTERIORES.

FUENTE: WATER POLLUTION CONTROL, PALANGE Y ZAVALA, 1987)

Los costos pueden ser actualizados utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{COSTO EN EL NUEVO AÑO BASE} = \text{COSTO EN EL AÑO BASE ANTIGUO} \left(\frac{\text{INDICE DEL NUEVO AÑO BASE}}{\text{INDICE DEL AÑO BASE ANTIGUO}} \right)$$

6.2 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.

Los costos en un país específico pueden variar considerablemente, debido al costo de la mano de obra, costos de embarque y otros relacionados con la importación de equipo, diferencias en los precios de los materiales de construcción y equipos adquiridos localmente y otros factores similares.

Los costos aparte de los de construcción (administración, servicios legales, servicios de ingeniería/arquitectura, inspecciones e imprevistos) equivalen a un 25% del costo total de construcción, en promedio, y deberán añadirse al total para calcular el costo final del proyecto.

Pueden existir otras categorías de costos (adquisición del terreno, drenaje de terreno, etc.), pero ellas deben ser consideradas 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 negras, en especial para los sistemas propuestos en la factibilidad técnica, comprenden los costos de los siguientes elementos:

- a) **Obra civil.**- Se considera la cantidad de obra requerido en m³ de concreto armado.

- b) Equipamiento.- Este estudio se limita al equipo electromecánico requerido (bombas y aereadores). En el caso de discos biológicos rotatorios se incluyen los discos, cubierta, eje, motorreductores y tanque de concreto. Para el caso del filtro percolador se incluye el empaque plástico y la estructura de la torre.
- c) Sistema de Tuberías.- Se considera un 25% del costo total de inversión.
- d) Instalación eléctrica.- Es considerado un 10% del costo total.
- e) Controles e Instrumentos.- Se considera un 5% del costo total de inversión.
- f) Otros.- En este factor se considera costos del inóculo (Reactor UASB), o pago por uso de patente (Reactor UASB y discos biológicos rotatorios).

6.2.1 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^3 de concreto armado necesario. El costo del m^3 de concreto armado de 250 kg/cm^2 y con el 20% de acero, es de N\$ $1,000.00/m^3$ e 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.

Los parámetros de diseño seguidos para el cálculo de los volúmenes de obra en los sistemas propuestos se presentan en el ANEXO 1

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 Reactor UASB en su configuración.

TABLA 6.2 VOLUMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AL REACTOR UASB, PARA DIFERENTES CAUDALES.

UNIDAD	Q= 160 m ³ /d (1,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=480 m ³ /d (3,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=800 m ³ /d (5,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q= 1,600 m ³ /d (10,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=2,400 m ³ /d (15,000 hab) (m ³ de concreto armado)
CARC.1. ¹	24	48.3	67.5	108.1	146.4
DESAR. ²	0.31	0.58	1.2	2.1	2.39
TK.UASB ³	20	38.4	51.4	103.5	132.2
CARC.2. ⁴	8	16	20.5	41	53
CLOR. ⁵	0.8	2.3	3.9	7.9	11.8
L.S. ⁶	3.5	10.2	17.5	35	52
TOTAL (m ³ de concreto)	56.6	115.9	162	297.6	397.8
TOTAL (NS)	56,600	115,900	162,000	297,600	397,800

LOS SUPERINDICES SON ESPECIFICADOS EN EL ANEXO 1

En la TABLA 6.3 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 Discos Biológicos Rotatorios en su configuración.

TABLA 6.3 VOLUMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION A LOS DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS, PARA DIFERENTES CAUDALES.

UNIDAD	Q=160 m ³ /d (1,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=480 m ³ /d (3,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=800 m ³ /d (5,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=1,600 m ³ /d (10,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=2,400 m ³ /d (15,000 hab) (m ³ de concreto armado)
CARC.1. ¹	24	48.3	67.5	108.1	146.4
DESAR.2	0.31	0.58	1.2	2.1	2.39
SED.3	10.4	20.2	31.1	52.4	73.4
T.D.L.4	9.8	30	43	72	86
CLOR.5	0.8	2.3	3.9	7.9	11.8
LS.6	13.9	41.8	70	140	208
TOTAL (m ³ de concreto)	59.2	143.3	217.3	382.5	528
TOTAL (N\$)	59,200	143,300	217,300	382,500	528,000

LOS SUPERINDICES SE ESPECIFICAN EN EL ANEXO 1

En la TABLA 6.4 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 aireación extendida en su configuración.

TABLA 6.4 VOLUMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AIREACION EXTENDIDA, PARA DIFERENTES CAUDALES.

UNIDAD	Q = 160 m ³ /d (1,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q = 480 m ³ /d (3,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q = 800 m ³ /d (5,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q = 1,600 m ³ /d (10,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q = 2,400 m ³ /d (15,000 hab) (m ³ de concreto armado)
CARC.1. ¹	24	48.3	67.5	108.1	146.4
DESAR. ²	0.31	0.58	1.2	2.1	2.39
TKA ³	39.3	102.3	152	217	300
SED ⁴	5.2	10.1	15.8	26.2	36.7
CLOR. ⁵	0.8	2.3	3.9	7.9	11.8
C.R.L. ⁶	8	16	20.5	41	53
L.S. ⁷	13.9	41.8	70	140	208
TOTAL (m ³ de concreto)	91.6	221.5	331	542.3	758.3
TOTAL (N\$)	91,600	221,500	331,000	542,300	758,300

LOS SUPERINDICES SE ESPECIFICAN EN EL ANEXO 1

Para el caso del tren de tratamiento anaerobio-aerobio (UASB-Filtro Percolador) son las mismas cantidades de obra que el del tren de tratamiento Reactor UASB más un clarificador, y se indican en la TABLA 6.5. El costo de la estructura del filtro, del empaque plástico y sistema de distribución, están contemplados en la sección 6.2.2 (equipamiento).

TABLA 6.5 VOLUMENES DE OBRA REQUERIDOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO ACOPLADO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION REACTOR UASB-FILTRO PERCOLADOR.

UNIDAD	Q=160 m ³ /d (1,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=480 m ³ /d (3,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=800 m ³ /d (5,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=1,600 m ³ /d (10,000 hab) (m ³ de concreto armado)	Q=2,400 m ³ /d (15,000 hab) (m ³ de concreto armado)
TRAT.1. ¹	56.6	115.9	162	297.5	397.8
SED. ²	5.2	10.1	15.8	26.2	36.7
TOTAL (m ³ de concreto)	61.8	126	177.8	323.7	434.5
TOTAL (N\$)	61,800	126,000	177,800	323,700	434,500

LOS SUPERINDICES SE ESPECIFICAN EN EL ANEXO 1

En la FIGURA 6.1 y 6.2 se muestran en forma gráfica los requerimientos de obra civil (m³ de concreto armado) y el costo (N\$), para los sistemas seleccionados, a diferentes capacidades.

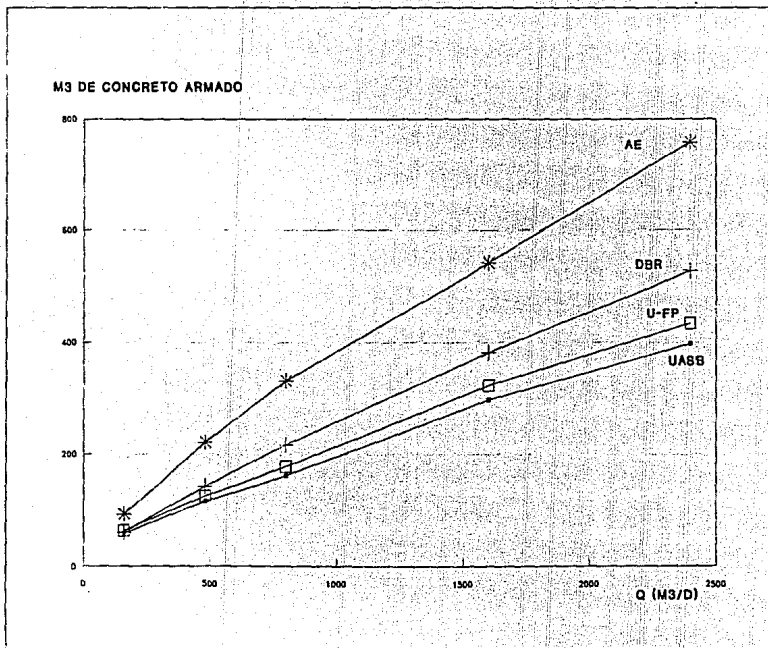


FIGURA 6.1 VOLUMENES DE OBRA CIVIL (M^3 DE CONCRETO ARMADO) PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M^3/D).

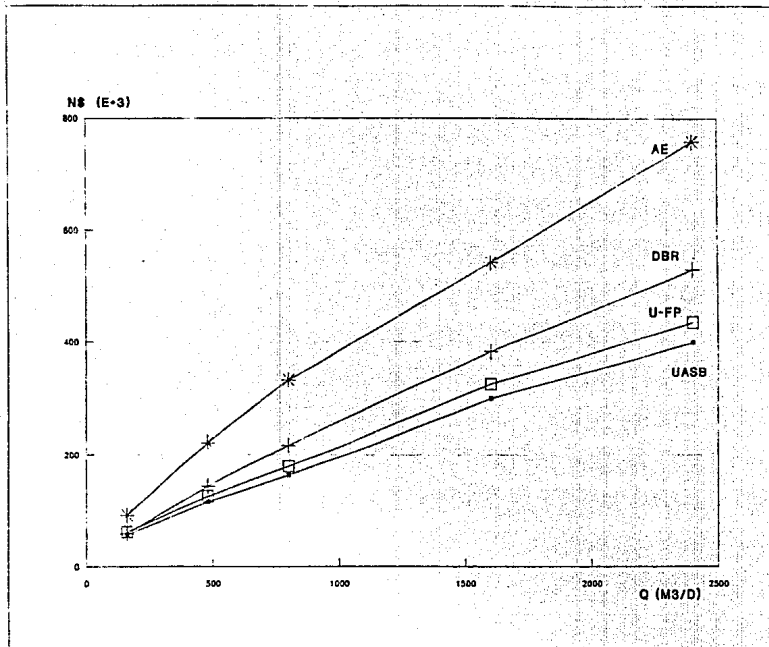


FIGURA 6.2 COSTO POR OBRA CIVIL (NS) PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M³/D).

6.2.2 Equipamiento

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, aereadores, motorreductores) y accesorios propios del sistema. Los superíndices mostrados en las tablas de costos por equipamiento se indican en el ANEXO 2.

En la TABLA 6.6 se indica el equipo mínimo requerido para el tren de tratamiento que incluye Reactor UASB en su configuración, así como el costo de inversión.

TABLA 6.6 COSTO DEL EQUIPAMIENTO MINIMO REQUERIDO PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AL REACTOR UASB, PARA DIFERENTES CAUDALES.

UNIDAD	Q = 160 m ³ /d (1,000 hab) (N\$)	Q = 480 m ³ /d (3,000 hab) (N\$)	Q = 800 m ³ /d (5,000 hab) (N\$)	Q = 1,600 m ³ /d (10,000 hab) (N\$)	Q = 2,400 m ³ /d (15,000 hab) (N\$)
BOMB.1. ¹	2,125	2,892	3,000	8,000	9,300
BOMB.2. ²	2,630	2,630	2,630	3,250	3,250
BOMB.3. ³	1,365	1,993	4,700	4,700	6,054
Q.B. ⁴	975	975	975	1,625	1,625
C.R.G. ⁵	930	2,795	4,650	9,304	13,975
TOTAL (N\$)	8,025	11,285	15,955	26,879	34,204

LOS SUPERINDICES SE ESPECIFICAN EN EL ANEXO 2

En la TABLA 6.7 se indica el equipo mínimo requerido para el tren de tratamiento que incluye Discos Biológicos Rotatorios en su configuración, así como el costo de inversión.

TABLA 6.7 COSTO DEL EQUIPAMIENTO MINIMO REQUERIDO PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS, PARA DIFERENTES CAUDALES.

UNIDAD	Q = 160 m ³ /d (1,000 hab) (N\$)	Q = 480 m ³ /d (3,000 hab) (N\$)	Q = 800 m ³ /d (5,000 hab) (N\$)	Q = 1,600 m ³ /d (10,000 hab) (N\$)	Q = 2,400 m ³ /d (15,000 hab) (N\$)
BOMB.1. ¹	2,125	2,892	3,000	8,000	9,300
BOMB.2. ²	2,630	2,630	2,630	3,250	3,250
BOMB.3. ³	1,365	2,518	1,993	4,700	6,054
DISC. ⁴	54,102	165,500	275,800	552,500	828,750
A.D.L. ⁵	4,478	4,478	4,478	6,717	6,717
SED. ⁶	47,710	143,000	238,550	477,100	717,600
TOTAL (N\$)	112,410	321,018	526,451	1,052,267	1,571,671

LOS SUPERINDICES SE ESPECIFICAN EN EL ANEXO 2

En la TABLA 6.8 se indica el equipo mínimo requerido para el tren de tratamiento que incluye Aireación Extendida en su configuración, así como el costo de inversión.

TABLA 6.8 COSTO DEL EQUIPAMIENTO MINIMO REQUERIDO PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AIREACION EXTENDIDA, PARA DIFERENTES CAUDALES.

UNIDAD	Q = 160 m ³ /d (1,000 hab) (N\$)	Q = 480 m ³ /d (3,000 hab) (N\$)	Q = 800 m ³ /d (5,000 hab) (N\$)	Q = 1,600 m ³ /d (10,000 hab) (N\$)	Q = 2,400 m ³ /d (15,000 hab) (N\$)
BOMB.1. ¹	2,125	2,892	3,000	8,000	9,300
BOMB.2. ²	2,630	2,630	2,630	3,250	3,250
BOMB.3. ³	1,365	1,365	1,365	1,993	4,700
BOMB.4. ⁴	2,630	2,630	3,250	4,063	4,063
A.T.A. ⁵	4,478	14,771	23,150	40,625	56,875
SED. ⁶	23,855	71,565	120,000	238,550	357,825
TOTAL (N\$)	37,083	95,853	153,395	296,522	436,013

LOS SUPERINDICES SE ESPECIFICAN EN EL ANEXO 2

En la TABLA 6.9 se indica el equipo mínimo requerido para el tren de tratamiento que incluye Reactor UASB y Filtro Percolador en su configuración, así como el costo de inversión.

TABLA 6.9 COSTO DEL EQUIPAMIENTO MINIMO REQUERIDO PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AL REACTOR UASB Y FILTRO PERCOLADOR, PARA DIFERENTES CAUDALES.

UNIDAD	Q=160 m ³ /d (1,000 hab) (N\$)	Q=480 m ³ /d (3,000 hab) (N\$)	Q=800 m ³ /d (5,000 hab) (N\$)	Q=1,600 m ³ /d (10,000 hab) (N\$)	Q=2,400 m ³ /d (15,000 hab) (N\$)
BOMB.1. ¹	2,125	2,892	3,000	8,000	9,300
BOMB.2. ²	2,630	2,630	2,630	3,250	3,250
BOMB.3. ³	2,630	2,630	2,630	3,250	3,250
BOMB.4. ⁴	1,365	1,993	1,993	4,700	4,700
Q.B. ⁵	975	975	975	1,625	1,625
C.R.G. ⁶	930	2,795	4,650	9,304	13,975
PERC. ⁷	29,575	42,250	50,700	84,500	123,500
SED. ⁸	23,855	71,565	120,000	238,550	357,825
TOTAL (N\$)	64,085	127,730	186,578	353,179	517,425

LOS SUPERINDICES SE ESPECIFICAN EN EL ANEXO 2

En la TABLA 6.10 se indica el costo de inversión por obra civil y equipamiento de los trenes de tratamiento seleccionados, para diferentes caudales.

TABLA 6.10 COSTO DE INVERSIÓN POR OBRA CIVIL Y EQUIPAMIENTO DE LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAUDALES.

TREN DE TRAT.	Q = 160 m ³ /d (1,000 hab) (N\$)	Q = 480 m ³ /d (3,000 hab) (N\$)	Q = 800 m ³ /d (5,000 hab) (N\$)	Q = 1,600 m ³ /d (10,000 hab) (N\$)	Q = 2,400 m ³ /d (15,000 hab) (N\$)
UASB	64,625	127,185	177,955	324,379	432,004
D.B.R.	171,610	464,318	743,751	1,433,171	2,099,671
A.E.	128,683	317,363	484,395	838,822	1,194,313
U-FP	125,885	253,730	364,738	676,879	951,925

En la FIGURA 6.3 se muestran en forma gráfica los resultados de la TABLA 6.10 donde es posible apreciar que el tren de tratamiento que requiere de mayor inversión inicial es el sistema de Discos Biológicos Rotatorios con tendencia lineal conforme aumenta la capacidad de la planta. El segundo lugar lo ocupa la Aireación Extendida, que a pesar de ser compleja en su operación y requerir de unidades grandes y equipo electromecánico, no resulta ser tan alto en su costo de inversión inicial. El tren de tratamiento acoplado UASB-Filtro Percolador es el sistema secundario de menores costos de inversión, además disminuye considerablemente conforme aumenta la capacidad de la planta. El Reactor UASB es el tren que presenta los menores costos de inversión, de los sistemas estudiados, sin embargo, su empleo dependerá de la calidad del effluente que se requiera y del sitio de disposición final.

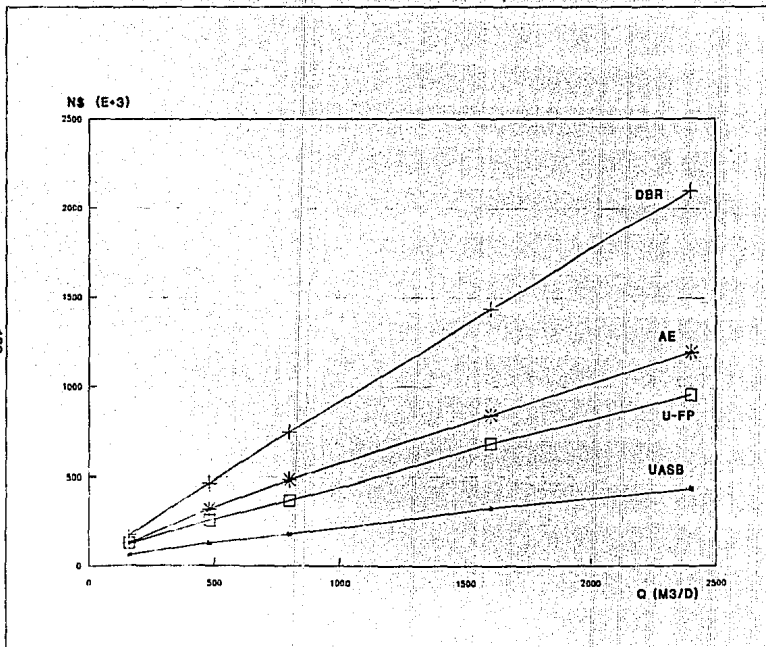


FIGURA 6.3 COSTO DE INVERSION (N\$), POR OBRA CIVIL Y EQUIPAMIENTO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M³/D).

Por otro lado, en la TABLA 6.11 se indica el costo unitario de agua tratada, por concepto de costos de inversión, así mismo, se encuentran en forma gráfica en la FIGURA 6.4 (Se considera un tiempo de vida útil de la planta de 20 años, tiempo en que se debe de pagar la inversión de la planta de tratamiento y la vivienda del INFONAVIT). Este factor no incluye el interés por servicio de la deuda ni factor depreciación de la planta.

TABLA 6.11 COSTOS UNITARIOS POR INVERSION INICIAL (N\$/m³ de agua tratada)

CAPACIDAD DE PLANTA (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)	REACTOR UASB (N\$/m ³ de agua tratada)	DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS (N \$/m ³ de agua tratada)	AIREACION EXTENDIDA (N \$/m ³ de agua tratada)	UASB-FILTRO PERCOLADOR (N \$/m ³ de agua tratada)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	0.055	0.146	0.110	0.107
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	0.036	0.132	0.090	0.072
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	0.030	0.127	0.082	0.062
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	0.027	0.122	0.071	0.057
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	0.024	0.119	0.068	0.054

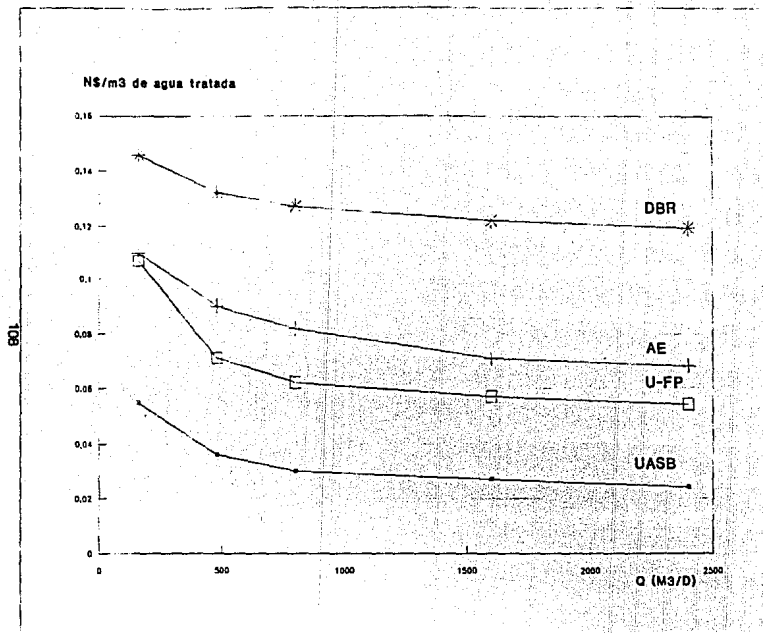


FIGURA 6.4 COSTO UNITARIO (NS/M³ DE AGUA TRATADA), POR COSTO DE INVERSION PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M³/D).

6.3 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 negras, los costos de O y M, comúnmente comprenden: a) Compuestos químicos, b) Energía, c) Personal y d) Requerimientos de materiales para mantenimiento¹, considerados básicos para el funcionamiento normal de una planta de tratamiento. Los costos del servicio de la deuda (amortización de los costos de inversión en la construcción) y de reposición de los componentes principales son fundamentales; sin embargo, no se analiza su comportamiento en este trabajo por considerarse constante en los sistemas propuestos no aportando elementos de comparación importantes. Los costos presentados son de precios vigentes al segundo trimestre de 1993.

¹Estos últimos no se incluyen en el presente trabajo, porque su requerimiento es función del equipo existente y del proveedor.

6.3.1 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. De esta forma se establecieron las siguientes dosis de cloro para los cuatro trenes seleccionados.

TABLA 6.12 DOSIFICACION DE CLORO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS.

TIPO DE TRATAMIENTO	DOSIFICACION (mg Cl ₂ /L) (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)
Reactor UASB	20
Aireación Extendida	8
Discos Biológicos Rotatorios	18
Sistema Acoplado Anaerobio-Aerobio UASB-Filtro Percolador	15

FUENTE: DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS, 1986.

Es importante mencionar que en la dosificación recomendada se considera efecto residual de 2 mg de Cl₂/L.

La selección del estado físico en que se empleará el cloro, se basó en un estudio brasileño de costos (Macedo y Noguti, 1978) donde se comparó el costo con respecto

a la efectividad del cloro líquido e hipoclorito de sodio. Los costos se compararon con base en el equipo, transportación, instalación y operación y mantenimiento para dosis y capacidades determinadas. El resultado del estudio elaborado demostró que el hipoclorito de sodio es la mejor selección en costo a capacidades de planta menores de 500 m³/d, además de no representar un riesgo en el manejo del gas cloro que en el caso de conjuntos habitacionales representa peligro de explosión si no se maneja en forma adecuada.

Para evaluar el comportamiento de los trenes de tratamiento seleccionados con respecto a los requerimientos de cloro, se hicieron estimaciones con hipoclorito de sodio (NaOCl) en solución al 10% en peso a una gravedad específica de 1.14 y a un costo de 1.5 NS/L, mostradas en la TABLA 6.13 y en forma gráfica en la FIGURA 6.5.

TABLA 6.13 REQUERIMIENTOS DE HIPOCLORITO DE SODIO (NaOCl) AL 10% EN PESO PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS A DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA.

CAPACIDAD DE PLANTA (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)	REACTOR UASB (L/hr)	DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS (L/hr)	AIREACION EXTENDIDA (L/hr)	UASB-FILTRO PERCOLADOR (L/hr)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	1.46	1.37	0.60	1.15
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	4.4	4.11	1.5	3.45
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	7.3	6.85	3.03	5.75
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	14.6	13.7	6.06	11.46
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	22	20.55	9.1	17.25

L/hr de NaOCl

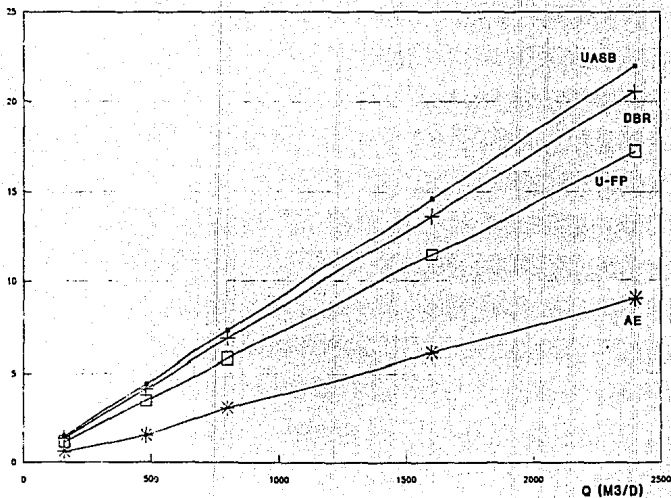


FIGURA 6.5 DOSIS DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 10% EN PESO (L DE NaOCl/HR), PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M³/D).

De estos resultados se desprende que el tren de tratamiento de mayores requerimientos de cloro es el efluente del reactor UASB, principalmente por tratarse de un tratamiento anaerobio, seguido por el efluente del tren de discos biológicos rotatorios, que aunque tiene calidad de tratamiento secundario, requiere de mayor dosificación de cloro porque no se consideraron más que cuatro etapas y con ello no se alcanza un alto nivel de desinfección, si se desea disminuir la dosis de cloro es necesario diseñar etapas aireadas artificialmente, con el consiguiente aumento de equipo y energía. El efluente del tren UASB-Filtro percolador requiere una dosis moderada de cloro para lograr la desinfección. El efluente que requiere de menor dosificación de cloro es el efluente de la aireación extendida, principalmente por tratarse de un efluente biológico secundario proveniente de un sistema con altos tiempos de retención.

En la TABLA 6.14 se presentan los costos unitarios por desinfección, utilizando hipoclorito de sodio al 10% en peso.

TABLA 6.14 COSTOS UNITARIOS POR DESINFECCION (HIPOCLORITO DE SODIO AL 10% EN PESO).

TREN DE TRATAMIENTO SELECCIONADO	COSTO UNITARIO POR DESINFECCION (NS/M ³ de agua tratada)
REACTOR UASB	0.33
DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS	0.30
AIREACION EXTENDIDA	0.13
ANAEROBIO-AEROBIO (UASB-FILTRO PERCOLADOR)	0.25

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

6.3.2 Energía

El ahorro de la energía en los procesos de tratamiento de aguas residuales es muy importante para reducir los costos y minimizar el efecto adverso que el consumo de energía tiene en el medio ambiente.

Este factor es relevante en el caso de las unidades habitacionales del INFONAVIT, debido a que a mayores consumos de energía eléctrica, los costos de operación aumentan en forma significativa, lo que condenaría al abandono a 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 que utilice la menor cantidad de equipo electromecánico (bombas, aereadores difusores, 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.

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. En las TABLAS 6.15, 6.16, 6.17 y 6.18 se muestran los resultados obtenidos. El costo energético tiene un precio de N\$ 0.30 KW-hr (N\$ 0.40 Hp-hr).

TABLA 6.15 REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO DEL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE (UASB).

REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE (UASB)				
CAPACIDAD DE PLANTA*	BOMB. 1 (Hp)	TRAT. DE LODOS (Hp)	POTENCIA TOTAL (Hp)	COSTO ENERGETICO (N\$/AÑO)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	2	1	3	6,224
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	2.5	1	3.5	7,261
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	3	1	4	8,298
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	7.5	2	9.5	19,710
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	10	2	12	24,896

* (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)

BOMB. 1. BOMBEO DEL CARCAMO DE REGULACION AL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE (BOMBAS CENTRIFUGAS VERTICALES SUMERGIBLES INATASCABLES)

TRAT DE LODOS. TRATAMIENTO DE LODOS (INCLUYE BOMBEO DEL CARCAMO DE LODOS AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODOS)

TABLA 6.16 REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO DE DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS.

DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS						
CAPACIDAD DE PLANTA*	BOMB. 1 (Hp)	D.B.R. (Hp)	SED. (Hp)	TRAT. DE LODOS (Hp)	POTENCIA TOTAL (Hp)	COSTO ENERGETICO (N\$/AÑO)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	2	1	1	3	5	14,253
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	2.5	2.5	1	3	9	18,672
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	3	5	1	3	12	24,896
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	7.5	10	1	5	23.5	48,756
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	10	15	1	5	31	64,316

* (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)

BOMB. 1. BOMBEO DEL CARCAMO DE REGULACION AL REACTOR BIOLOGICO (BOMBAS CENTRIFUGAS VERTICALES SUMERGIBLES INATASCABLES)

D.B.R. MECANISMO MOTRIZ POR CADENAS DEL EJE QUE SOSTIENE A LOS DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS (MOTORREDUCTORES)

SED. MOTOREDUCTORES DE LOS SEDIMENTADORES PRIMARIO Y SECUNDARIO (0.5 Hp CADA UNO)

TRAT DE LODOS. TRATAMIENTO DE LODOS (INCLUYE SISTEMA DE AIREACION Y BOMBEO DEL CARCAMO DE LODOS AL DIGESTOR AEROBIO DE LODOS)

TABLA 6.17 REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO DE
AIREACION EXTENDIDA.

AIREACION EXTENDIDA							
CAPACIDAD DE PLANTA*	BOMB. 1 (Hp)	AIREAC. (Hp)	BOMB. 2 (Hp)	SED. (Hp)	TRAT DE LODOS (Hp)	POTENCIA TOTAL (Hp)	COSTO ENERGETICO (NS/AÑO)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	2	2	1	0.5	1	6.5	13,485
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	2.5	7	1	0.5	1	12	24,896
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	3	10	2	0.5	2	17.5	36,307
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	7.5	20	2.5	0.5	2.5	33	68,465
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	10	30	2.5	0.5	2.5	45.5	94,399

* (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)

BOMB. 1. BOMBEO DEL CARCAMO DE REGULACION AL REACTOR BIOLÓGICO (BOMBAS CENTRIFUGAS VERTICALES SUMERGIBLES INATASCABLES)

AIREAC. AIREACION EN EL REACTOR BIOLÓGICO (AERADORES MECANICOS SUPERFICIALES, 2.5 Lb O₂/Hp.hr)

BOMB. 2. BOMBEO DE RECIRCULACION DE LODOS (BOMBAS ROTATORIAS HORIZONTALES DE CARCAMO SECO)

SED. MOTOREDUCTORES DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

TRAT DE LODOS. TRATAMIENTO DE LODOS (INCLUYE SISTEMA DE AIREACION Y BOMBEO DEL CARCAMO DE LODOS A LECHOS DE SECADO)

TABLA 6.18 REQUERIMIENTOS ENERGETICOS PARA EL TREN DE TRATAMIENTO ANAEROBIO-AEROBIO (REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE, UASB-FILTRO PERCOLADOR).

TRATAMIENTO ANAEROBIO-AEROBIO (UASB-FILTRO PERCOLADOR)					
CAPACIDAD DE PLANTA*	BOMB. 1 (Hp)	SED. (Hp)	TRAT. DE LODOS (Hp)	POTENCIA TOTAL (Hp)	COSTO ENERGETICO (N\$/AÑO)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	2	0.5	2	4.5	9,336
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	2.5	0.5	2	5	10,373
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	3	0.5	2	5.5	11,411
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	7.5	0.5	4	12	24,896
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	10	0.5	4	14.5	30,083

* (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)

BOMB. 1. BOMBEO DEL CARCAMO DE REGULACION AL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE (BOMBAS CENTRIFUGAS VERTICALES SUMERGIBLES INATASCABLES)

TRAT DE LODOS. TRATAMIENTO DE LODOS (INCLUYE BOMBEO DEL CARCAMO DE LODOS AL REACTOR UASB Y AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODOS)

La FIGURA 6.6 permite identificar que el tren de tratamiento con mayores costos energéticos es el de aireación extendida, lo cual resulta natural al ser de los sistemas de tratamiento que cuenta con mayor cantidad de equipo electromecánico, por lo que su selección dependerá de que exista una estructura financiera que se haga cargo de los costos de operación y mantenimiento de la planta, de lo contrario este tren de tratamiento se abandonará. El tren de tratamiento de discos biológicos rotatorios ocupa el segundo lugar, con casi el 50% de consumo de energía con respecto al sistema de aireación extendida por lo que es posible pensar que cumple con las

necesidades de los conjuntos habitacionales del INFONAVIT. Los trenes de tratamiento que contemplan al reactor UASB en su arreglo tienen los menores requerimientos energéticos debido a que el reactor no requiere de transferencia de oxígeno y trabaja con flujo ascendente lo que hace posible acumular carga hidráulica para posteriormente utilizarla en operaciones siguientes, ahorrando equipo de bombeo y de distribución.

Una forma útil de reportar los análisis de costos es aplicando costos unitarios en función del tamaño de la planta. En la TABLA 6.19 se muestra el costo de energía por m³ de agua tratada para los trenes de tratamiento seleccionados en función de la capacidad.

TABLA 6.19 COSTOS ENERGETICOS UNITARIOS EN FUNCION DE LA CAPACIDAD.

CAPACIDAD DE PLANTA*	REACTOR UASB (N\$/m ³ agua tratada)	DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS (N\$/m ³ agua tratada)	AIREACION EXTENDIDA (N\$/m ³ agua tratada)	UASB-FILTRO PERCOLADOR (N\$/m ³ agua tratada)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	0.106	0.248	0.230	0.159
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	0.041	0.106	0.142	0.059
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	0.028	0.085	0.124	0.039
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	0.033	0.083	0.117	0.042
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	0.028	0.073	0.107	0.034

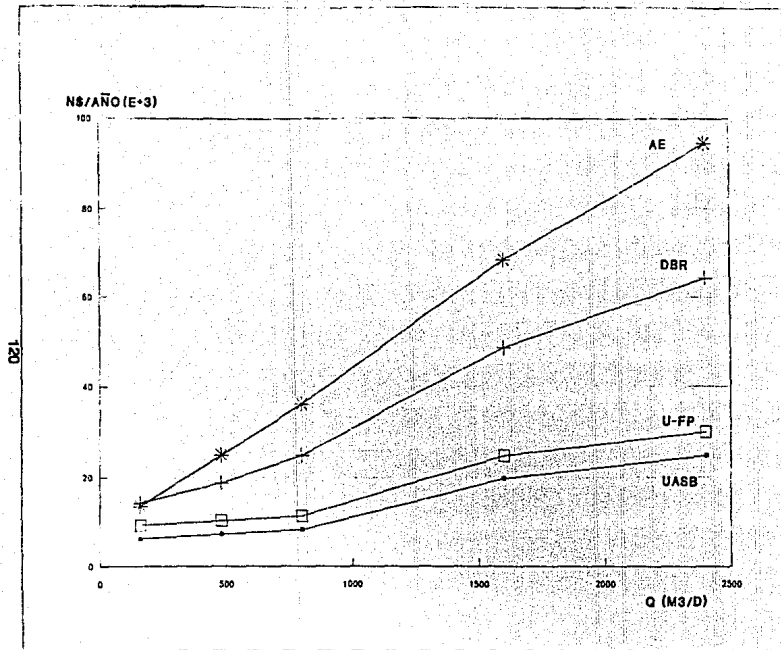


FIGURA 6.6 COSTOS ENERGÉTICOS ANUALES (NS/AÑO), PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M³/D).

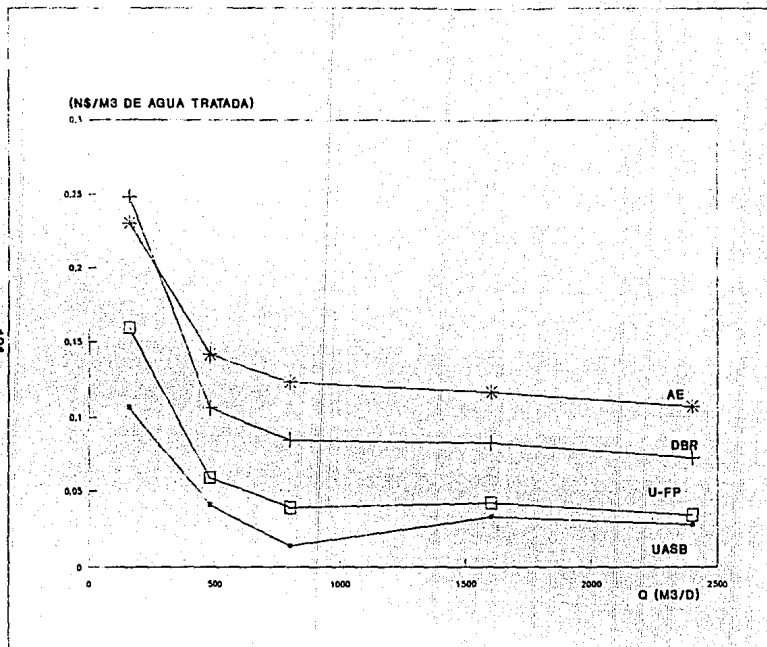


FIGURA 6.7 COSTO UNITARIO (NS/M³ DE AGUA TRATADA), POR REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M³/D).

Los costos energéticos unitarios se representan en la FIGURA 6.7 donde es posible observar un comportamiento decreciente, es decir conforme aumenta la capacidad de la planta disminuyen los costos unitarios; este comportamiento es explicable por la disponibilidad del equipo en forma comercial. Para requerimientos energéticos muy pequeños (< 0.5 Hp), no se dispone de equipo que se ajuste a tal potencia, por lo que es necesario emplear con equipo muy sobrado y corregir en campo, mientras que para potencias mayores es posible conseguir equipo de potencias muy parecidas o hacer arreglos de equipo para lograr la potencia requerida, y de esta forma los costos son semejantes.

6.3.3. Personal

"Ni los programas generales, ni los suministros generosos de capital servirán de mucho, a menos que se conjunte una tecnología adecuada, una dirección eficiente y una mano de obra capacitada, que se enfoquen con eficacia hacia proyectos bien concebidos" (Shulz y Okun, 1990). Esta afirmación resume el problema que se enfrenta en el tratamiento de agua, y en forma particular en los conjuntos habitacionales del INFONAVIT, donde son muchos los casos en los que las instalaciones de tratamiento de agua son apropiadamente diseñadas y construidas, pero se encuentran abandonadas u operan en forma deficiente por falta de personal que se haga cargo de ellas. Por lo tanto, una instalación de tratamiento no se puede considerar concluida, aún cuando la construcción se ha terminado, el equipo se ha instalado y la operación se haya iniciado, a menos que se encuentre ya capacitado y en su lugar el personal necesario para asegurar el mantenimiento y operación continua de la planta.

Los requerimientos de personal no sólo incluyen a los operarios de la instalación, sino también a los directores responsables de emplear y distribuir el personal requerido, los técnicos y oficiales necesarios para el mantenimiento, y el personal de laboratorio para supervisar las operaciones, incluyendo las medidas para su entrenamiento. Sin embargo, el principal problema en el desarrollo de los recursos humanos se presenta en las plantas pequeñas donde es difícil proporcionar la calidad de personal requerido para asegurar su correcta operación.

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.

Para determinar la cantidad y grado de calificación del personal se han establecido plantillas de personal para un sistema de tratamiento dado y para varias capacidades diarias promedio, (TABLA 6.20).

Sin embargo, para establecer con precisión los requerimientos de personal, deben considerarse las características y necesidades locales de la planta de tratamiento y la estructura social de la comunidad, por lo que cada planta tendrá condiciones únicas, requiriendo un conocimiento de la situación y opiniones sólidas que deben ser aplicadas en el desarrollo del personal óptimo.

TABLA 6.20 PLANTILLA DE PERSONAL PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO EN FUNCION DE LAS CAPACIDADES DIARIAS PROMEDIO.

Puesto	Capacidad Diaria Promedio de la Planta, en m ³									
	1	3	5	10	20	35	50	65	80	100
Número Estimado de Personal										
Superintendente		.5	.5	1	1	1	1	1	1	1
Ayudante de Superintendente						1	1	1	1	1
Mecanógrafo						1	1	2	2	3
Supervisor de Operaciones								1	1	1
Cepaxas						1	2	2	3	3
Operador II		2	2	3	3	6	8	10	11	14
Operador I		3	4	4	5	6	10	10	13	18
Operador de Equipo Automático			1	1	1	3	3	4	4	6
Supervisor de Mantenimiento								1	1	1
Cepaxas de Mantenimiento Mecánico						1	1	1	2	2
Mecánico de Mantenimiento II				1	1	2	2	2	2	2
Mecánico de Mantenimiento I					1	1	2	2	2	3
Electricista II					1	1	1	1	2	2
Electricista I							1	1	1	2
Ayudante de Mantenimiento			1	1	1	2	3	4	4	5
Librero		.5	1	2	3	4	4	5	6	8
Pintor								.5	1	1
Almacenero								1	1	1
Guardián								1	1	1
Químico									.5	.5
Técnico Laboratorista			.5	1	1	2	2	2	2	2
Dotación Total de Personal	5	8	10	15	24	36	45	55.5	65.5	77.5

Notas:

- (a) Los componentes de la planta incluidos en este ejemplo son:

Tratamiento de Aguas Residuales	Tratamiento de Lodos
Bombeo de aguas residuales crudas	Bombeo de lodos primarios
Tratamiento preliminar	Digestión de lodos
Sedimentación primaria	Tanques de almacenamiento de lodos
Filtros percoladores	Filtración al vacío (b)
Sedimentación final	
Bombeo de recirculación	
Cloración	

Otros Componentes de la Planta
 Trabajos en el patio
 Laboratorio
 Administración y actividades generales

- (b) Retiro de la torta del filtro a cargo del personal de la planta.

FUENTE: PALANGE Y ZAVALA, 1989.

Para evaluar los requerimientos de personal de los trenes de tratamiento seleccionados, se identificó la cantidad y grado de calificación necesario. En el caso del Reactor UASB, discos biológicos rotatorios y UASB-Filtro percolador (a capacidades de planta de hasta 2,400 m³/d), únicamente requieren de un operador con cierto grado de experiencia y capacitación en el proceso, encargado de vigilar el buen funcionamiento de la planta, mediante acciones rutinarias de operación, paro y arranque del equipo electromecánico, toma y envío de muestras, proporcionar mantenimiento preventivo a la planta de tratamiento, llevar un registro de los trabajos realizados, consumos energéticos, récord de control de la calidad y cantidad del agua residual cruda y tratada, y finalmente planear y emplear estrategias para garantizar la operación durante su ausencia.

El horario del operador será de 8 horas diarias, 6 días por semana, percibiendo una retribución a su trabajo de 3 salarios mínimos* y prestaciones de ley. En la TABLA 6.21 se reporta el costo de operación de la planta por requerimientos de personal para los trenes de tratamiento seleccionados (excepto aireación extendida) a capacidades de planta de hasta 2,400 m³/d.

TABLA 6.21 COSTOS DE REQUERIMIENTOS DE PERSONAL (INCLUYE EL 20% POR CONCEPTO DE PRESTACIONES), A CAPACIDADES DE PLANTA DE HASTA 2,400 m³/d.

TIPO DE TRATAMIENTO	COSTO DE PERSONAL REQUERIDO (NS/año)
Reactor UASB	18,790
Discos Biológicos Rotatorios	18,790
Sistema Acoplado Anaerobio-Aerobio UASB-Filtro Percolador	18,790

* SE CONSIDERO EL SALARIO MINIMO DIARIO PARA LA CIUDAD DE MEXICO A JULIO DE 1993. EQUIVALENTE A N\$ 14.30. (ES NECESARIO AJUSTAR ESTE VALOR A LA ZONA ECONOMICA DEL PAIS DONDE SE LOCALICE EL SISTEMA DE TRATAMIENTO).

Para el caso del tren de tratamiento de aireación extendida, es necesario determinar la cantidad de personal en función de la capacidad de la planta (TABLA 6.22), mientras que el grado de capacitación debe de ser de Técnico operador de plantas de tratamiento de aguas residuales.

TABLA 6.22 REQUERIMIENTOS DE CANTIDAD DE PERSONAL PARA AIREACION EXTENDIDA, EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE PLANTA.

CAPACIDAD DE PLANTA (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)	PERSONAL REQUERIDO
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	1 Operador * 1 Auxiliar *
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	2 Operadores * 2 Auxiliares *
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	2 Operadores * 2 Auxiliares *
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	4 Operadores * 4 Auxiliares *
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	4 Operadores * 4 Auxiliares * 1 Analista **

- * Técnico Operador de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
- ** Auxiliar de operador de planta (conocimientos generales de planta)
- ** Técnico Químico Analista (Análisis de calidad del agua residual cruda y tratada)

El horario de trabajo del personal requerido en plantas de hasta 800 m³/d (5,000 habitantes) es de 8 horas diarias, 6 días por semana. Es responsabilidad del Operador el buen funcionamiento de la planta y el planear estrategias de operación durante su ausencia. Para el personal requerido en plantas de 800 m³/d hasta 2,400 m³/d (5,000 a 15,000 habitantes), es necesario establecer horarios de 4 días con 12 horas de trabajo por el día, 4 días de descanso y 4 días con 12 horas de trabajo por

la noche. De esta forma, se garantiza la operación de la planta en forma continua y eficiente. El horario del técnico químico analista es de 8 horas diarias, 6 días por semana.

En la TABLA 6.23 se reporta el número de salarios mínimos para el personal requerido en la operación y mantenimiento de un sistema de Aireación extendida.

TABLA 6.23 CANTIDAD DE SALARIOS MINIMOS REQUERIDOS PARA EL PERSONAL DE UN SISTEMA DE AIREACION EXTENDIDA.

PERSONAL REQUERIDO	RETRIBUCION AL TRABAJO (CANTIDAD DE SALARIOS MINIMOS*)
OPERADOR (TECNICO OPERADOR DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES)	4
AUXILIAR DE OPERADOR	2
TECNICO QUIMICO ANALISTA	3

* SE CONSIDERO EL SALARIO MINIMO DIARIO PARA LA CIUDAD DE MEXICO A JULIO DE 1993, EQUIVALENTE A N\$ 14.30. (ES NECESARIO AJUSTAR ESTE VALOR A LA ZONA ECONOMICA DEL PAIS DONDE SE LOCALICE EL SISTEMA DE TRATAMIENTO).

En la TABLA 6.24 se reporta el costo de operación de la planta, por requerimientos de personal para el tren de tratamiento de aireación extendida a capacidades de planta de 160 m³/d hasta 2,400 m³/d.

En la FIGURA 6.8 se muestra en forma gráfica, el costo en N\$, por requerimientos de personal, para los diferentes tipos de procesos seleccionados y diferentes capacidades de planta.

TABLA 6.24 COSTOS DE REQUERIMIENTOS DE PERSONAL (INCLUYE EL 20% POR CONCEPTO DE PRESTACIONES), PARA EL TREN DE TRATAMIENTO QUE INCLUYE EN SU CONFIGURACION AIREACION EXTENDIDA, A CAPACIDADES DE PLANTA DE 160 m³/d HASTA 2,400 m³/d.

CAPACIDAD DE PLANTA*	COSTO DE PERSONAL REQUERIDO (N\$/año)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	37,580
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	75,160
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	75,160
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	150,320
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	165,978

* (BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO)

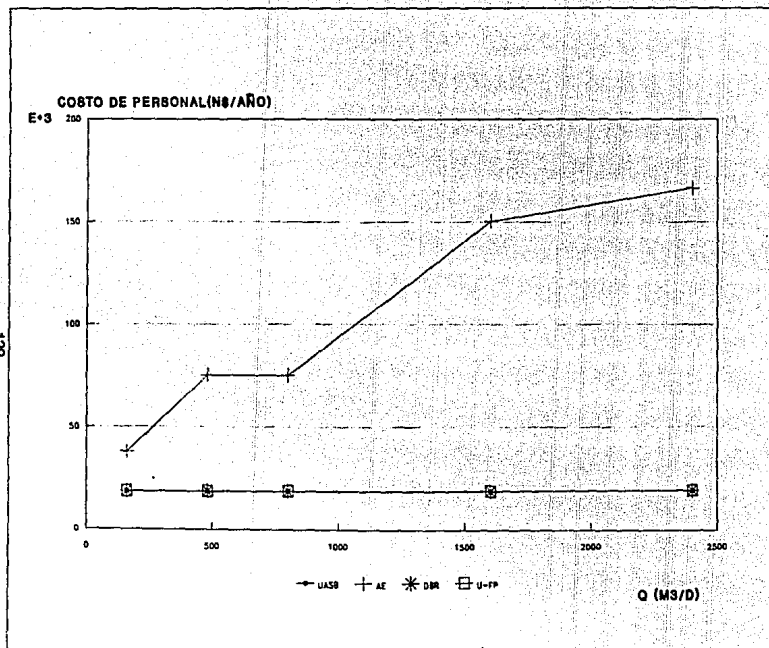


FIGURA 6.8 COSTO DE PERSONAL (NS/AÑO), PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA (M³/D).

En la TABLA 6.25 y en la FIGURA 6.9 se muestra el costo por m³ de agua tratada para los trenes de tratamiento seleccionados en función de la capacidad de planta.

TABLA 6.25 COSTOS UNITARIOS REQUERIMIENTOS DE PERSONAL EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA*.

CAPACIDAD DE PLANTA*	REACTOR UASB (NS/M ³ agua tratada)	DISCOS BIOLOGICOS ROTATORIOS (NS/M ³ agua tratada)	AIREACION EXTENDIDA (NS/M ³ agua tratada)	UASB-FILTRO PERCOLADOR (NS/M ³ agua tratada)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	0.321	0.321	0.643	0.321
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	0.107	0.107	0.428	0.107
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	0.064	0.064	0.257	0.064
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	0.032	0.032	0.257	0.032
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	0.021	0.021	0.189	0.021

* BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO

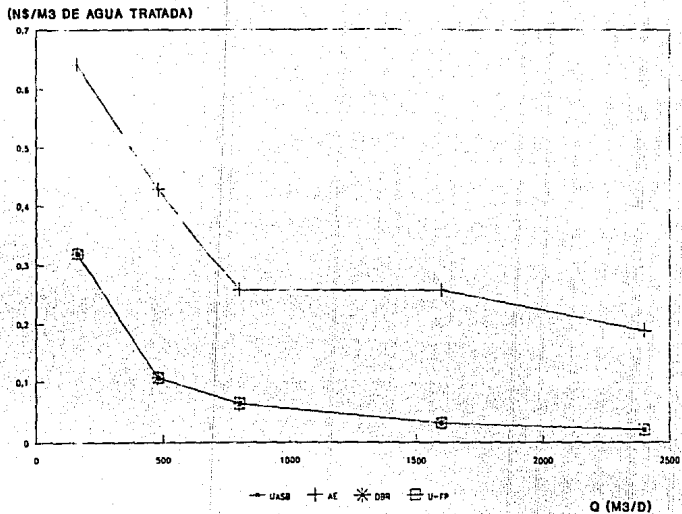


FIGURA 69 COSTO UNITARIO (NS/M³ DE AGUA TRATADA), POR REQUERIMIENTOS DE PERSONAL PARA LOS TRENES DE TRATAMIENTO SELECCIONADOS, PARA DIFERENTES CAPACIDADES DE PLANTA, (M³/D).

Finalmente, en la TABLA 6.26 y en la FIGURA 6.10 se muestran los costos por m³ de agua tratada, incluyen costos de inversión (obra civil y equipamiento) y de operación (cloración, energía y personal), para los trenes de tratamiento seleccionados en función de la capacidad de la planta.

TABLA 6.26 COSTOS UNITARIOS POR INVERSION Y OPERACION EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA*.

CAPACIDAD DE PLANTA+	REACTOR UASB (N\$/M ³ agua tratada)	DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS (N\$/M ³ agua tratada)	AIREACION EXTENDIDA (N\$/M ³ agua tratada)	UASB-FILTRO PERCOLADOR (N\$/M ³ agua tratada)
160 m ³ /d (1,000 habitantes)	0.812	1.015	1.113	0.837
480 m ³ /d (3,000 habitantes)	0.514	0.645	0.790	0.488
800 m ³ /d (5,000 habitantes)	0.438	0.576	0.593	0.415
1,600 m ³ /d (10,000 habitantes)	0.422	0.537	0.575	0.381
2,400 m ³ /d (15,000 habitantes)	0.403	0.513	0.494	0.359

+ BASADO EN UN GASTO MEDIO DE DISEÑO

(N\$/M3 DE AGUA TRATADA)

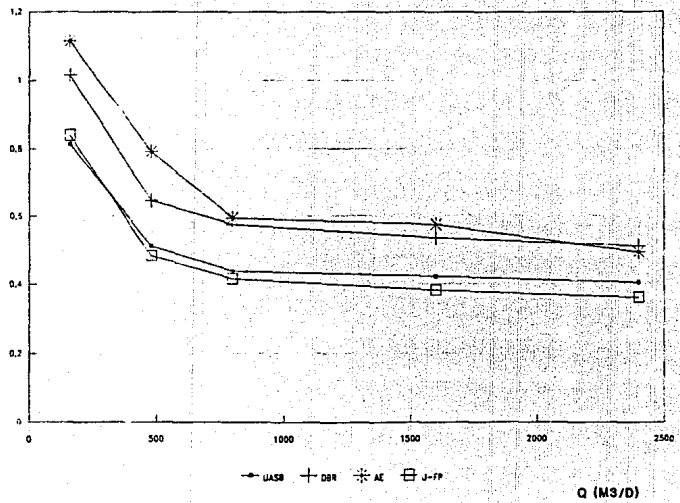


FIGURA 6.10 COSTOS UNITARIOS POR INVERSION Y OPERACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

6.4 Reuso del agua como incentivo económico

En términos económicos, se puede establecer que para lograr la reducción de la contaminación se requiere que los contaminadores incrementen sus costos netos, efecto que puede limitarse mediante el reuso del agua residual tratada. Conceptualizar el agua como un recurso renovable y fomentar el reuso de las aguas residuales tratadas en todas aquellas actividades que no requieran agua de calidad potable, permitiría capitalizar el valor restituido al agua residual por acción de un adecuado tratamiento.

La venta del agua residual tratada, es una ventaja tributaria para la entidad que administre y opere los sistemas de tratamiento; este beneficio puede ser un importante incentivo.

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

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

En la TABLA 6.27 se presenta el consumo promedio de agua por persona, para los diferentes usos que se hace en la vivienda. Se observa que es posible el empleo de agua residual tratada para los usos de retrete, jardinería y lavado de automóviles. Reutilizar el agua con estos propósitos representa un ahorro de 72.5 L/hab/día. Si se considera un porcentaje de pérdidas igual al reportado en la TABLA 6.27 (13.15%), el

ahorro se reduce a 62.9 L/hab/día y, por tanto, la dotación de agua potable por persona se abaten un 33.15% (de 190 a 127 L/hab/día).

TABLA 6.27 CONSUMO MEDIO DE AGUA EN LITROS/PERSONA/DIA.

USO	PROMEDIO ¹	PORCIENTO	POSIBILIDAD DE REUSO DE AGUA
RETRETE	64	33.68	+
HIGIENE PERSONAL	57.5	30.26	-
LAVADO DE ROPA	11.5	6.05	-
LAVADO DE VAJILLA	16.0	8.42	-
BEBIDA Y COCCION	7.5	3.94	-
JARDINERIA Y LAVADO DE AUTOS	8.5	4.47	+
PERDIDAS	25	13.15	-
TOTAL	190	99.97	72.5 (38.15%)

¹ PROMEDIO DE ESTADOS UNIDOS Y EL REINO UNIDO

FUENTE: LAMA GANGELLI M. 1988

Es importante señalar que el empleo de dispositivos de ahorro de agua y retretes de bajo consumo, aunado al reciclaje del agua, permiten reducir la dotación por persona a por lo menos 90 L/hab/día. De esta manera, las fuentes de abastecimiento duplican su potencial de servicio, es decir, una fuente de abastecimiento que de servicio a un conjunto habitacional de 500 viviendas, por ejemplo se podrían abastecer a 1,000 viviendas. Del mismo modo, las descargas de aguas residuales se reducen en un 50%.

Si la CNA destina un porcentaje de la recaudación del impuesto por derecho de descarga, gravando a los responsables de estas de estas cuando el sistema no alcance la calidad requerida, y se incentiva la participación de empresas privadas o de

los organismos operadores locales a través de ventajas tributarias o de la venta del agua tratada a usuarios, e podrá solventar el problema del carente soporte financiero para operar y mantener los sistemas de tratamiento.

Por otra parte, la concesión de los sistemas de tratamiento permitiría que el pago de los usuarios por servicio de saneamiento sea directo, al incluirse éste a la tarifa establecida para el cobro de los servicios de agua potable y alcantarillado.

7. CONCLUSIONES

Con base en el análisis de la información presentada en el presente estudio es posible establecer las siguientes conclusiones:

- 1) Las fallas encontradas en las plantas de tratamiento visitadas tienen como causa común y esencial la falta de recursos económicos para poder sustentar un aparato administrativo con el fin de mantener en operación las plantas de tratamiento.
- 2) Es necesario establecer mecanismos que permitan la relación habitante-organismo operador (público o privado) para enfrentar el problema de abandono de las plantas de tratamiento.
- 3) Es importante que se establezca la Norma Técnica Ecológica que regule la descarga de los conjuntos habitacionales.
- 4) De las opciones de tratamiento secundario el sistema acoplado (anaerobio-aerobio) UASB-Filtro percolador es el sistema que presenta el menor costo de inversión, operación y mantenimiento y técnicamente se adapta a las características de los conjuntos habitacionales, resulta la mejor alternativa de tratamiento; sin embargo, es necesario que este sistema sea probado en campo.

BIBLIOGRAFIA

Autotrol Co. (1978) "RBC Design Manual". Autotrol Co. Biosystems Division.

Benfield L.D. y Randall C.W. (1980) "Biological Process Design for Wastewater Treatment". Ed. Prentice-Hall Inc.

Crigg N. S. (1986) "Urban Water Infraestructure: Planning, Managment, and Operations". Ed. Wiley and Sons Inc.

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

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

Eckenfelder W.W., Patoczka J.B. y Pullian G.W. (1988) "Anaerobic versus Aerobic in the USA". Memorias del Simposium Anaerobic Digestion, organizado por la IAWPRC, Boloña, Italia.

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

Environmental Protection Agency (1980) "Treatability Manual". Vol. IV: Cost Estimating. EPA-600/8-80-042D.

Flores D. (1992), Ingeniería Ambiental, no. 17, SMISAAC.

Fuad A. y Gidi D. (1991) "Control de la contaminación del agua en México". Información Científica y Tecnológica, Vol. 13 no. 173, CONACYT

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

González M.S. y Elias C.J.G. (1989) "Diseño de Biodiscos". Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 520.

Harbold H.S. (1982) "Sanitary Engineering Problems and Calculations for the Professional Engineer". Ed. Ann Harbor Science.

Haro G. R. (1992) "Derecho de descargas de aguas residuales en el marco de la problemática de la contaminación del agua y la política de la preservación de su calidad", Ingeniería Ambiental, año 5 no. 15, SMISAAC.

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

Lucero R.B. (1992) "Características de Diseño y Operación de algunos Filtros Percoladores Construidos en México". Memorias del VII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; SMISAAC, Cocoyoc, Mor., México.

McNaughton K.J. (1989) "Bombas: Selección, Uso y Mantenimiento". Ed. McGraw-Hill.

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

Murillo R.F. (1991) "Obra Civiil de Plantas de Tratamiento". Ingeniería Ambiental, SMISAAC, No. 9.

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

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

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

Peavy H.S., Rowe D.R. y Tchobanoglous G. (1986) "Environmental Engineering". Ed. McGraw-Hill.

Qasim S.R. (1985) "Wastewater Treatment Plants: Planning, Design and Operation". Ed. CBS College Publishing.

Samhokin V.N. (1989) "Design Handbook of Wastewater Systems". Municipal and Industrial Systems, vol. 2. Ed. Allerton Press, Inc.

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

Schulz C.R. y Okun D.A. (1990) "Tratamiento de Aguas Superficiales para Países en Desarrollo". Ed. Limusa.

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

Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (1990) "Gaceta Ecológica". Volumen III, No. 17. NTE-CCA-031/91 y NTE-CCA-032/91.

Suzan F. Y Aguilar J.A. (1992) "Estimación de Costos para Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales". Federalismo y Desarrollo, No. 33. Banobras, México.

Tchobanoglous G. y Schroeder E.D. (1987) "Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification". Ed. Addison Wesley Publishing Company.

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

Water Pollution Control Federation (1976) "Operation of Wastewater Treatment Plants". Manual of Practice No. 11, Second Printing 1985.

Water Pollution Control Federation (1982) "Wastewater Treatment Plant Design". WPCF Manual of Practice No. 8, ASCE Manual on Engineering Practice No. 36.

ANEXO 1

Criterios de diseño para calcular las dimensiones de las unidades que requieren de obra civil, para calcular los volúmenes de obra en m^3 de concreto armado, para los trenes de tratamiento seleccionados.

A) *REACTOR UASB*

¹ Cárcamo de igualación: el volumen del tanque se calculó en base a un tiempo de retención de 4 hr. a un caudal medio de diseño. El espesor de las paredes del tanque es de 0.3 m de acuerdo a la Ley de Obra Pública del D.F.

² Canal Desarenador: para el diseño de esta unidad se consideraron los siguientes parámetros, la velocidad del agua en el canal de 0.30 m/s, sección rectangular del canal (0.4 m), el tamaño de las partículas a remover de 0.2 mm o mayores y la velocidad de sedimentación de las partículas de 2.18 cm/s.

³ Reactor UASB: El volumen del reactor se calculó en base a un T.R.H. de 6 h para un caudal medio de diseño y que la velocidad de flujo ascendente no exceda 1.2 m/h. la profundidad del reactor es de 6 m. El espesor de las paredes del tanque es de 0.3 m de acuerdo a lo establecido en la Ley de Obra Pública del D.F.

⁴ Cárcamo de almacenamiento de lodos: La función de este tanque es almacenar lodo granular anaerobio para su comercialización como inóculo. Para su diseño, por cuestiones prácticas, se consideró el 40% del volumen del reactor UASB.

⁵ Unidad de Contacto de cloro: El tiempo de contacto en esta unidad es de 20 minutos para asegurar una completa desinfección y se cuenta con 5 mamparas repartidas en forma simétrica, de tal forma que el comportamiento se asemeje al de un reactor de flujo pistón.

⁶ Lechos de Secado: Estas unidades se calcularon para la deshidratación de los lodos de exceso del Reactor UASB, un parámetro que ha sido aceptado prácticamente es de 0.045 m²/hab.

B) DISCOS BIOLÓGICOS

¹ Cárcamo de igualación: el volumen del tanque se calculó en base a un tiempo de retención de 4 hr. a un caudal medio de diseño. El espesor de las paredes del tanque es de 0.3 m de acuerdo a la Ley de Obra Pública del D.F.

² Canal Desarenador: para el diseño de esta unidad se consideraron los siguientes parámetros, la velocidad del agua en el canal de 0.30 m/s, sección rectangular del canal (0.4 m), el tamaño de las partículas a remover de 0.2 mm o mayores y la velocidad de sedimentación de las partículas de 2.18 cm/s.

³ Tanque de sedimentación: Este factor incluye los volúmenes de obra de obra del sedimentador primario y del clarificador final. Los parámetros de diseño son la velocidad de sedimentación de 1,000 y 800 gpd/ft² y el tiempo de retención de 2 y 1.8 horas respectivamente. El espesor de las paredes y el fondo del tanque es de 0.3 m, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Obra Pública del D.F.

⁴ Digestor Aerobio de Lodos: En el diseño de esta unidad, el factor predominante es el T.R.H. de los lodos (10 días) y la carga de sólidos que debe de estar en un intervalo de 1.6 a 4.8 kg de sólidos/m³.d. La profundidad del digestor varía de acuerdo al caudal a tratar desde 1 a 3 m. El espesor de las paredes y de la base del digestor es de 0.3 m.

⁵ Unidad de Contacto de cloro: El tiempo de contacto en esta unidad es de 20 minutos para asegurar una completa desinfección y se cuenta con 5 mamparas repartidas en forma simétrica, de tal forma que el comportamiento se asemeje al de un reactor de flujo pistón.

⁶ Lechos de Secado: Estas unidades se calcularon para la deshidratación de los lodos provenientes del digestor aerobio de lodos, un parámetro que ha sido aceptado prácticamente es de 0.0905 m²/hab.

C) AIREACION EXTENDIDA

¹ Cárcamo de igualación: el volumen del tanque se calculó en base a un tiempo de retención de 4 hr. a un caudal medio de diseño. El espesor de las paredes del tanque es de 0.3 m de acuerdo a la Ley de Obra Pública del D.F.

² Canal Desarenador: para el diseño de esta unidad se consideraron los siguientes parámetros, la velocidad del agua en el canal de 0.30 m/s, sección rectangular del canal (0.4 m), el tamaño de las partículas a remover de 0.2 mm o mayores y la velocidad de sedimentación de las partículas de 2.18 cm/s.

³ Tanque de aireación: el volumen del reactor fue determinado en base al tiempo de retención de 20 horas, un intervalo de F/M de 0.05 a 0.15 y profundidad del tanque de 3.3 a 5 m dependiendo del caudal. El espesor de las paredes y de la base del tanque es de 0.3 m.

⁴ Tanque de sedimentación: Este factor incluye el volumen de obra del clarificador secundario. El parámetro de diseño es la velocidad de sedimentación de 800 gpd/ft² y el tiempo de retención de 1.8 horas. El espesor de las paredes y el fondo del tanque es de 0.3 m, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Obra Pública del D.F.

⁵ Unidad de Contacto de cloro: El tiempo de contacto en esta unidad es de 20 minutos para asegurar una completa desinfección y se cuenta con 5 mamparas repartidas en forma simétrica, de tal forma que el comportamiento se asemeje al de un reactor de flujo pistón.

⁶ Cárcamo de recirculación de lodos: Esta unidad se diseñó a un tiempo de retención de 4 h para lodo proveniente del clarificador secundario y una concentración del 2% de sólidos.

⁷ Lechos de Secado: Estas unidades se calcularon para la deshidratación de los lodos provenientes del digestor aerobio de lodos, un parámetro que ha sido aceptado prácticamente es de 0.0905 m²/hab.

D) UASB-FILTRO PERCOLADOR

¹ TRAT.1: Incluye el volumen de obra requerido para el tren de tratamiento que incluye en su configuración el Reactor UASB, indicado en la TABLA 6.2

4 Tanque de sedimentación: Este factor incluye el volumen de obra del clarificador secundario. El parámetro de diseño es la velocidad de sedimentación de 800 gpd/ft² y el tiempo de retención de 1.8 horas. El espesor de las paredes y el fondo del tanque es de 0.3 m, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Obra Pública del D.F.

ANEXO 2

Especificaciones generales del equipamiento requerido en los trenes de tratamiento seleccionados.

A) *REACTOR UASB*

¹ Equipo de bombeo del cárcamo de regulación al reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente: bombas centrífugas verticales sumergibles inatascables, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija con interruptor de nivel integrado. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.15 de Requerimientos Energéticos.

² Equipo de bombeo del cárcamo de lodos al tanque de almacenamiento de lodos: Bombas rotatorias de desplazamiento positivo, horizontales de foso seco, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.15 de Requerimientos Energéticos.

³ Dosificador electrónico de líquidos, operado por solenoide, para manejar solución de hipoclorito de sodio al 10% con una presión promedio de descarga de 75 psig. El equipo consiste de una bomba dosificadora, coladera con válvula de pie y contrapeso, conexión a tubería y manguera para succión y descarga.

⁴ Quemador de biogás: incluye quemador de chispa y sistema de conducción.

⁵ Campanas recolectoras de biogás: colectores de gas de 4.90 x 0.70 m de altura y 1.0 m de ancho, fabricado de fibra de vidrio, incluye tapas laterales, tubería de 4" y refuerzos de fibra de vidrio.

B) DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS

¹ Equipo de bombeo del cárcamo de regulación al sedimentador primario: bombas centrífugas verticales sumergibles inatascables, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija con interruptor de nivel integrado. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.16 de Requerimientos Energéticos.

² Equipo de bombeo del cárcamo de lodos al digestor aerobio de lodos: bombas rotatorias de desplazamiento positivo, horizontales de foso seco, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.16 de Requerimientos Energéticos.

³ Dosificador electrónico de líquidos, operado por solenoide, para manejar solución de hipoclorito de sodio al 10% con una presión promedio de descarga de 75 psig. El equipo consiste de una bomba dosificadora, coladera con válvula de pie y contrapeso, conexión a tubería y manguera para succión y descarga.

⁴ Unidad de Discos: incluye el tanque de concreto, discos de polietileno de alta densidad, cubierta de fibra de vidrio resistente a la luz UV, ejes de acero, baleros, unidades motrices e instalación.

⁵ Aireadores del tanque digestor de lodos: aereador de baja velocidad, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, flecha agitadora, material de acero al carbón con pintura epóxica, la propele está formada por cuatro hojas planas inclinadas a 45° en acero al carbón con pintura epóxica.

⁶ Incluye el sedimentador primario y el clarificador, formados por los siguientes elementos: deflector central fabricado en placa de acero al carbón grado A-36, deflector periférico fabricado en placa de acero al carbón grado A-36, desnatador superficial constituido por una rastra abarca la mitad del sedimentador, puente andador formado por perfiles estructurales grado A-36, sistema de rastras de fondo constituida por una estructura metálica a base de perfiles estructurales, placas de rascado inferior de hule neopreno de 9 mm de espesor, colector de espumas construida con placa de acero al carbón grado A-36, sistema motriz para rastras formado por reductor vertical doble tipo sin fin, motorreductor horizontal, cople flexible de cadena con limitador mecánico, inversor de frecuencia electrónico para operar con motor de C.A. para limitar el alto torque y muy alto torque.

C) *AIREACION EXTENDIDA*

¹ Equipo de bombeo del cárcamo de regulación al tanque de aireación: bombas centrífugas verticales sumergibles inatascables, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija con interruptor de nivel integrado. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.17 de Requerimientos Energéticos.

² Equipo de bombeo del cárcamo de lodos a lechos de secado: bombas rotatorias de desplazamiento positivo, horizontales de foso seco, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.17 de Requerimientos Energéticos.

³ Dosificador electrónico de líquidos, operado por solenoide, para manejar solución de hipoclorito de sodio al 10% con una presión promedio de descarga

de 75 psig. El equipo consiste de una bomba dosificadora, coladera con válvula de pie y contrapeso, conexión a tubería y manguera para succión y descarga.

⁴ Equipo de bombeo de recirculación de lodos del cárcamo al tanque de aireación: bombas rotatorias de desplazamiento positivo, horizontales de foso seco, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.17 de Requerimientos Energéticos.

⁵ Aireadores del tanque de aireación: aereador de baja velocidad, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, flecha agitadora, material de acero al carbón con pintura epóxica, la propela está formada por cuatro hojas planas inclinadas a 45° en acero al carbón con pintura epóxica. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.17 de Requerimientos Energéticos.

⁶ Clarificador formado por los siguientes elementos: deflector central fabricado en placa de acero al carbón grado A-36, deflector periférico fabricado en placa de acero al carbón grado A-36, desnatador superficial constituido por una rastra abarca la mitad del sedimentador, puente andador formado por perfiles estructurales grado A-36, sistema de rastras de fondo constituida por una estructura metálica a base de perfiles estructurales, placas de rascado inferior de hule neopreno de 9 mm de espesor, colector de espumas construida con placa de acero al carbón grado A-36, sistema motriz para rastras formado por reductor vertical doble tipo sinfín, motorreductor horizontal, cople flexible de cadena con limitador mecánico, inversor de frecuencia electrónico para operar con motor de C.A. para limitar el alto torque y muy alto torque.

D) UASB-FILTRO PERCOLADOR

¹ Equipo de bombeo del cárcamo de regulación al reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente: bombas centrífugas verticales sumergibles inatascables, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija con interruptor de nivel integrado. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.18 de Requerimientos Energéticos.

² Equipo de bombeo del cárcamo de lodos al tanque de almacenamiento de lodos: Bombas rotatorias de desplazamiento positivo, horizontales de foso seco, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.18 de Requerimientos Energéticos.

³ Equipo de bombeo del cárcamo de lodos al Reactor UASB: Bombas rotatorias de desplazamiento positivo, horizontales de foso seco, 1750 RPM, 3 fases, 60 Hz, 220 a 440 V, uso pesado y continuo, instalación fija. La potencia del equipo se indica en la TABLA 6.18 de Requerimientos Energéticos.

⁴ Dosificador electrónico de líquidos, operado por solenoide, para manejar solución de hipoclorito de sodio al 10% con una presión promedio de descarga de 75 psig. El equipo consiste de una bomba dosificadora, coladera con válvula de pie y contrapeso, conexión a tubería y manguera para succión y descarga.

⁵ Quemador de biogás: incluye quemador de chispa y sistema de conducción.

⁶ Campanas recolectoras de biogás: colectores de gas de 4.90 x 0.70 m de altura y 1.0 m de ancho, fabricado de fibra de vidrio, incluye tapas laterales, tubería de 4" y refuerzos de fibra de vidrio.

⁷ Filtro percolador: incluye suministro e instalación de empaque plástico (120 m²/m³), sistema de bajo dren, sistema de distribución y estructura de la torre

⁸ Clarificador formado por los siguientes elementos: deflector central fabricado en placa de acero al carbón grado A-36, deflector periférico fabricado en placa de acero al carbón grado A-36, desnatador superficial constituido por una rastra abarca la mitad del sedimentador, puente andador formado por perfiles estructurales grado A-36, sistema de rastras de fondo constituida por una estructura metálica a base de perfiles estructurales, placas de raspado inferior de hule neopreno de 9 mm de espesor, colector de espumas construida con placa de acero al carbón grado A-36, sistema motriz para rastras formado por reductor vertical doble tipo sinfín, motorreductor horizontal, cople flexible de cadena con limitador mecánico, inversor de frecuencia electrónico para operar con motor de C.A. para limitar el alto torque y muy alto torque.