

11126  
26



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**"PROTOTIPO DE PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES PARA ESCUELAS  
SECUNDARIAS TÉCNICAS DE LA SEP"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO MECANICO  
ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :  
J A I M E FONSECA NATA**

**ASESOR : M en I. MARÍA DE LOURDES ARELLANO  
BOLIO**

**CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO**

**2003**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**1**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Prototipo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales  
para escuelas secundarias técnicas de la SEP"

que presenta el pasante: Jaime Fonseca Mata  
con número de cuenta: 7311740-9 para obtener el título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 5 de Marzo de 2003.

PRESIDENTE Ing. Ma. Lourdes Maldonado López

VOCAL M.I. Ma. Lourdes Arellano Bolio

SECRETARIO Lic. Fernán González Camberos

PRIMER SUPLENTE Ing. Gabriel Vazquez Castillo

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Anatolio Mendoza González

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2

A MIS PADRES CON  
GRATITUD Y CARÍNO.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A MI ESPOSA ROCIO  
CON CARINO.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4

A MIS HIJOS: FANNY, RODRIGO Y OSWALDO  
POR SER EL MOTIVO DE TODO LO QUE HE  
LOGRADO.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A MIS HERMANOS  
POR SU APOYO.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A MI DIRECTOR DE TESIS,  
POR SU APOYO.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

7

## TEMA DE TESIS:

Prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales para escuelas secundarias técnicas de la SEP.

## ÍNDICE

### I. MARCO TEÓRICO

1.1 Usos del agua dentro de una escuela pública	3
1.1.1 Abastecimiento de agua	3
1.1.2 Usos del agua en los lavabos	4
1.1.3 Usos del agua en los sanitarios	4
1.1.4 Usos del agua en los laboratorios	4
1.1.5 Usos del agua en los talleres	5
1.1.6 Usos del agua para la limpieza	6
1.2 Problemática existente del agua en zonas críticas	6
1.2.1 Escasez	7
1.2.2 Desperdicio	9
1.2.3 Contaminación	10
1.3 Posibles soluciones a la problemática del agua	13
1.3.1 Uso racional	14
1.3.2 Tratamiento	15
1.3.3 Reúso	16
1.4 Aguas residuales	21
1.4.1 Características de las aguas residuales	21
1.4.1.1 Constituyentes de las aguas residuales	22
1.4.1.2 Contaminantes de importancia en el tratamiento de aguas residuales	24
1.4.2 Tratamiento de las aguas residuales	25
1.4.2.1 Clasificación de los métodos de tratamiento	25
1.4.2.2 Selección del proceso por remoción de contaminantes	26
1.5 Tipos de plantas de tratamiento para aguas residuales	28
1.5.1 Procesos biológicos	28
1.5.2 Procesos de lodos activados más comunes	35
1.5.2.1 Convencional	35
1.5.2.2 Mezcla completa	36
1.5.2.3 Aereación graduada	36
1.5.2.4 Aereación escalonada	36
1.5.3 Métodos de aereación	38
1.5.4 Operación de sistemas a base de lodos activados	39
1.5.5 Técnicas de control de proceso	41
1.5.6 Problemas operativos	43

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **II. MARCO DE REFERENCIA**

II.1 Situación actual de las escuelas secundarias de la SEP	45
II.2 Marco legal	46
II.3 Análisis de los usos del agua dentro de la escuela	54
II.3.1 Situación de las instalaciones hidráulicas	59
II.4 Selección de las plantas de tratamiento más adecuadas	68
II.4.1 Trenes de tratamiento de los procesos seleccionados	69
II.4.2 Aereación extendida	70
II.4.3 Discos biológicos rotatorios	72
II.4.4 Reactor UASB - Filtro Percolador	75
II.4.5 Reactor UASB	78
II.4.6 Resultados de la factibilidad técnica	80
II.5 Evaluación del proyecto	
II.5.1 Estudio de mercado	83
II.5.2 Evaluación técnica	86
II.5.2.1 Planta tipo paquete de dos procesos biológicos	86
II.5.2.2 Sistema de dos procesos biológicos modular	93
II.5.2.3 Sistema Coreano de México	95
II.5.3 Estudio y evaluación económica	98
II.5.4 Fuentes de financiamiento	103

## **III. PROPUESTA**

III.1 Selección de la planta	105
III.2 Instalación de la planta	111
III.3 Determinación del periodo de recuperación de la inversión	116
III.4 Beneficios e impacto social	120
III.4.1 Disminución de los costos por consumo de agua	120
III.4.2 Impacto en los usuarios de la escuela	121

## **IV. RESULTADOS**

Conclusiones y recomendaciones	122
Glosario	126
Bibliografía	133

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

## 1.1 Usos del agua dentro de una escuela secundaria pública

La cultura por un buen uso de los recursos naturales debe iniciarse dentro de los centros de enseñanza básica, para lo cual se establece como punto medular la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales en las escuelas secundarias técnicas de la SEP, donde se considera que se tendría un mayor impacto en la sociedad, para el logro de una cultura adecuada en el cuidado del recurso agua.

Dentro de las actividades que se gestan dentro de una escuela secundaria, están las de solicitar la cooperación del educando para mantener limpias las aulas, sanitarios, talleres, laboratorios y patios; ahora con lo anterior, se podría sumar el del uso apropiado del agua, poniendo como ejemplo las instalaciones de la misma escuela.

El agua es indispensable para cualquier forma de vida que existe sobre nuestro planeta y en la actualidad se ha vuelto un problema para el desarrollo adecuado de ciertas zonas del mundo; en los centros urbanos el uso de este preciado líquido se ha diversificado e intensificado y cada vez más el abastecimiento de agua a las urbes se dificulta, por lo que es fundamental generar en la población una actitud que le permita valorar este recurso y a que contribuya a crear entre las nuevas generaciones una cultura del manejo del agua basada en su buen uso, con la finalidad de que se cree en él la necesidad de conservarla para futuras generaciones.

En una escuela el agua es utilizada para bebederos, sanitarios, lavabos, laboratorios, talleres, riego de áreas verdes y limpieza en general.

### 1.1.1 Abastecimiento de agua

Los centros de enseñanza requieren de una fuente adecuada de suministro de agua, normalmente se abastecen a través de redes de distribución municipal.

Los sistemas municipales de distribución de agua son presurizados a través de sistemas de bombeo, distribuyéndose por medio de una red hidráulica, que por desgracia en nuestro país, en la mayoría de los casos, tienen grandes deficiencias, ya sea por tuberías demasiado viejas o por falta de planeación en su crecimiento.

Dentro de la escuela, el agua es almacenada primero en cisternas y posteriormente en tinacos elevados a través de sistemas hidráulicos compuestos por motobombas, tubería de distribución y electroniveles; posteriormente se distribuye aprovechando la energía almacenada en los tinacos de almacenamiento a bebederos, sanitarios, lavabos, laboratorios

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

y talleres a través de una red hidráulica interior; además se requiere un sistema de recolección de toda el agua residual generada en el interior de la escuela que la conduzca a la red de drenaje municipal.

La red hidráulica interior está hecha generalmente de tubería de cobre, galvanizada o de PVC hidráulico, ofreciendo superficie interior lisa, de poca fricción y alta resistencia, mientras que en los sistemas de drenaje se utiliza tubería de concreto simple, con una pendiente mínima de 0.6%.

En todos los aparatos y muebles hidráulicos se colocan válvulas de paso, de manera que se pueda obstruir el flujo de agua en cada uno.

### **1.1.2 Usos del agua en los lavabos**

Para el lavado de manos y aseo de los usuarios se cuenta con lavabos, los cuales disponen de un alimentador de agua potable con válvula de paso y recolector de agua utilizada para posteriormente conducirla al drenaje.

Los lavabos están diseñados para recoger el agua utilizada en el lavado. Por razones de limpieza y de duración, los lavabos están hechos con materiales duros y lisos como la porcelana o acero inoxidable, que pueden brindar una mayor vida útil.

### **1.1.3 Uso del agua en los sanitarios**

Para la sanidad de los usuarios de la escuela, principalmente en el sanitario de hombres se cuenta con urinarios o mingitorios y retretes, mientras que en el de las mujeres sólo con retretes. Todos éstos cuentan con un alimentador de agua, dispuesto de una válvula de paso y un colector para conducir los desechos al drenaje.

Los urinarios están hechos con materiales duros y lisos como la porcelana o acero inoxidable, que pueden brindar una mayor limpieza y vida útil.

Los excusados son de porcelana para asegurarse de que en ellos no se formen grietas que sirvan de refugio a las bacterias en el momento de limpiarlos.

El uso del agua es para mantener limpio el excusado o mingitorio.

### **1.1.4 Uso del agua en los laboratorios**

En las instalaciones de las escuelas de nivel secundaria se tienen por lo regular tres tipos de laboratorios: laboratorio de física, laboratorio de biología y laboratorio de química en donde se hacen prácticas de cada una de estas materias; en ellos por lo general existen

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

tarjas donde se disponen los residuos de materiales biológicos y químicos, que son conducidos al drenaje y donde también se lavan los instrumentos y materiales utilizados.

### **1.1.5 Uso del agua en los talleres**

La diversidad de talleres depende de la zona donde se encuentre la escuela; en zonas rurales se tienen aquellos donde se enseñan actividades para el campo y el bosque, en zonas costeras para la enseñanza de actividades marítimas, y en las ciudades existen talleres de tipo artesanal y de tipo técnico.

Los talleres tienen como finalidad la capacitación, así como el adiestramiento del alumno para que al término de este ciclo cuente con los elementos necesarios para el adecuado uso y aprovechamiento de tan importante recurso, ya que esta capacitación será una parte fundamental para la formación del alumno y para que adquiera plena conciencia cuando se integre a algún proceso productivo, o si así lo desea, continuar con su formación académica.

En un centro escolar puede haber algunos de los siguientes talleres:

- Mecanografía
- Electricidad
- Dibujo
- Soldadura y forja
- Mecánica automotriz
- Máquina y herramientas
- Refrigeración y aire acondicionado
- Preparación de alimentos
- Apicultura
- Ductos y controles
- Industria del vestido
- Productos lácteos

Normalmente existen seis; estos talleres están equipados con máquinas, herramientas, mobiliario, instalaciones hidráulicas, eléctricas, de gas, de oxígeno y de servicios sanitarios.

Éstos se tienen que mantener en buenas condiciones de conservación y limpieza, tanto por los alumnos, como por el personal encargado de éstos.

El uso del agua en los talleres es de vital importancia, ya que por ejemplo en el taller de electricidad su utilización se desarrolla fundamentalmente en el estudio de los fenómenos electrolíticos; en soldadura y forja para el enfriamiento de los metales, así como para observar su comportamiento dilatatorio al cambio repentino de temperatura; en mecánica automotriz, máquinas y herramientas, para los sistemas de enfriamiento y limpieza de los

componentes de éstas; en refrigeración y aire acondicionado para el control de los cambios de temperatura así como para el acondicionamiento del medio ambiente; en la preparación de alimentos y productos lácteos es un elemento indispensable ya que está íntimamente ligado con la salud de las personas, por lo que, en forma general, al agua se le debe dar una adecuada utilización.

### **1.1.6 Uso de agua para la limpieza**

Para la limpieza diaria de oficinas, salones, laboratorios, talleres, pasillos, escaleras patios y baños se requiere de agua y drenaje, para verter las aguas utilizadas en esta tarea.

En las oficinas y salones se limpia todo el mobiliario y los pisos, en las escaleras y pasillos se trapea utilizando agua y detergente y los baños se limpian con agua, detergente y desinfectantes.

## **1.2 Problemática existente del agua en zonas críticas**

Los problemas que se enfrentan en la actualidad en materia de agua, tienen sus causas en limitaciones físicas y en circunstancias socioeconómicas, pero también en los errores que como sociedad hemos cometido al planear el aprovechamiento de los recursos hidráulicos: al permitir su desperdicio o incurrir en su degradación y sobreexplotación.

Se propone la instalación de un proceso de tratamiento en una escuela secundaria de la delegación Iztapalapa, una de las zonas críticas de la ciudad de México en el abastecimiento de agua, para lo cual se han seleccionado tres sistemas factibles (sistemas de tratamiento en paquete de dos procesos biológicos, el mismo sistema en módulos y un sistema coreano tipo paquete), todos estos sistemas cerrados, cuidando la seguridad de los usuarios de la institución educativa.

Si se habla de la delegación de Iztapalapa en el D.F., en donde se tienen serios problemas en el abastecimiento de agua y en donde existe un total de 25 escuelas secundarias de la SEP, se podría hablar de un consumo diario de 25 por 36.3 m<sup>3</sup>/día, que equivalen a 907 m<sup>3</sup>/día.

El abastecimiento de agua en la delegación Iztapalapa se estima en 158,286 m<sup>3</sup> al día que tomando en cuenta el consumo de las escuelas secundarias, corresponde al 0.57%.

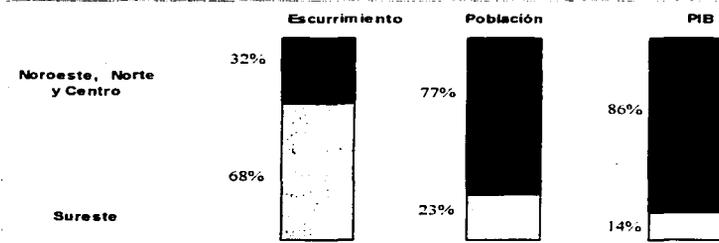
El agua resulta ser un detonante fundamental, para el desarrollo social y económico de los países, por tal motivo es de vital importancia su cuidado y preservación. Las aguas del subsuelo, sólo deberían explotarse como una alternativa extrema y tratar de conservar estos mantos acuíferos, en los niveles y calidad adecuados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 1.2.1 Escasez

De acuerdo con los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda 2000, México tiene una población de 97.4 millones de habitantes. Por otro lado, según análisis del Consejo Nacional de Población (CONAPO), indican que la tasa de crecimiento ha disminuido de 1.7% en 1995 a 1.4% en el 2000. Por lo que se estima que para el año 2025 México tendrá una población de 123.4 millones de habitantes, esto es casi el 27% más.

La población, la actividad económica y las mayores tasas de crecimiento se concentran en el centro, norte y noroeste del país, donde por desgracia la disponibilidad de agua es menor, alcanzando valores cercanos a los 2000 m<sup>3</sup>/hab/año, valor considerado por el Banco Mundial y la Organización de las Naciones Unidas, como valor peligrosamente bajo en años de escasa precipitación. Esta situación comienza a generar problema de suministro, sobre todo en periodos de sequía.



Además de lo anterior, el agua en la naturaleza, en cantidad y calidad suficiente, es indispensable para mantener el equilibrio ecológico. Esto debe tomarse en cuenta ya que el medio ambiente es también un consumidor más de este vital recurso.

Por su nivel de humedad, el 56% del territorio comprende zonas muy áridas, áridas y semiáridas que dominan el norte y áreas del centro del país. El 37% es subhúmedo y se presenta en las sierras y en las planicies costeras del Pacífico, Golfo de México y el noreste de la Península de Yucatán. Las zonas húmedas con sólo el 7% del territorio, se encuentran en donde inician las sierras y se deposita la humedad del Golfo de México, además de una pequeña porción en la vertiente del Pacífico al extremo sur del país.

El régimen de lluvia de verano cubre el 66% de la superficie del territorio; el intermedio cubre el 31% correspondiendo a la frontera norte del país y a las zonas de mayor precipitación en el trópico mexicano. Sólo el 3% de la superficie contiene régimen de lluvias de invierno en la vertiente del Pacífico de la Península de Baja California.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se estiman 772 mm de lluvia promedio anual, en todo el territorio nacional, de los cuales el 67% acontece de junio a septiembre, lo que dificulta su aprovechamiento, dado su carácter torrencial en la mayoría de los casos.

Superficialmente escurren en el país al año 397 km<sup>3</sup> y la infraestructura hidráulica de almacenamiento tiene una capacidad del orden de 150 km<sup>3</sup>; dado a la variabilidad temporal y espacial de los escurrimientos, es imposible aprovechar totalmente el escurrimiento superficial, que se presenta en el país.

En la península de Baja California, norte de Sonora y la Mesa del Norte, existen zonas áridas en donde prácticamente no existe precipitación pluvial, lo que genera grandes conflictos por este recurso. En contraste en la vertiente del golfo y en el resto de la vertiente del pacífico existen zonas donde el escurrimiento es alto y el drenaje natural es insuficiente, por lo que con frecuencia se presentan inundaciones.

La recarga de acuíferos se estima en 75 km<sup>3</sup>/año, de los cuales se aprovechan aproximadamente 28 km<sup>3</sup>/año. El 70% del volumen de agua que se suministra a las ciudades proviene del subsuelo. El agua subterránea se ha convertido en un elemento indispensable en el suministro a los diferentes usuarios, bien sea en las zonas áridas donde constituye la fuente de abastecimiento más importante y a menudo única, o en las diferentes ciudades del territorio las cuales han tenido que recurrir a ella para cubrir sus crecientes requerimientos de agua.

Esto no revela la situación crítica en las zonas áridas, además de que la presión sobre las aguas del subsuelo del país se incrementa debido principalmente a la extracción excesiva y a los volúmenes de infiltración cada vez menores, provocado por la pérdida de zonas de recarga, la deforestación y cambios en el uso de suelo.

La sobreexplotación de los acuíferos del país se agrava constantemente: mientras que en 1975 eran 32 los sobreexplotados, en el 2000 se registraron 96.

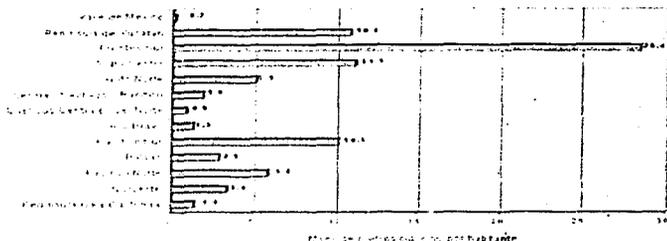
La sobreexplotación de los acuíferos ha generado diversos efectos perjudiciales, entre los cuales se encuentra el grave impacto ecológico irreversible de las primeras décadas de sobreexplotación, que se tradujo en el agotamiento de los manantiales, en la desaparición de lagos y humedales, en la reducción de los caudales base de los ríos, en la eliminación de la vegetación nativa y en la pérdida de ecosistemas.

Por otro lado, el incremento en la demanda de agua de las ciudades es cada vez más difícil de satisfacer y está generando serios problemas de sobreexplotación. Esto se agrava en ocasiones por la ocurrencia de asentamientos diferenciales y agrietamiento del terreno, que a su vez provocan daños en la infraestructura urbana.

Cuando la escasez de lluvia se mantiene durante periodos prolongados, da lugar a sequías que afectan el abasto de agua a las poblaciones, daño a la agricultura, la ganadería y otras actividades económicas. En nuestro país el mayor usuario lo constituye el uso agrícola.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Disponibilidad natural de agua por región administrativa de la CNA



### I.2.2 Desperdicio

Se deben modificar las tendencias actuales sobre el recurso, si queremos que nuestro desarrollo no sea limitado.

No podemos enfrentar el problema del agua como si su disponibilidad fuera algo que se nos da ilimitadamente y de forma gratuita.

Por tal motivo, se hizo indispensable colaborar con este trabajo en el uso del agua dentro de las instituciones educativas del país, ya que es en este lugar, donde la población se educa y qué mejor que los mismos alumnos vean las alternativas que existen para el cuidado del agua.

Una nueva cultura del agua debe empezar por los interesados en este tema, en la preocupación por difundir e impactar en los usuarios, para que ellos tomen acciones correctivas y de preservación.

Respecto al abastecimiento de agua potable, destacan los siguientes problemas:

- En las redes de distribución se llegan a tener pérdidas por fugas entre 30 y 50%, lo que exige mayor extracción de agua, esto provocado por la falta en el país de tarifas apropiadas por el costo de los servicios de distribución, que permitan el adecuado mantenimiento y distribución de los sistemas hidráulicos.
- La situación del abastecimiento de agua en el medio rural es más grave aún, ya que la diseminación de estas poblaciones y las grandes distancias entre ellas, hacen más costosos los sistemas de distribución y mantenimiento.

En México, la superficie dedicada a la agricultura varía entre 20 y 25 millones de hectáreas, de las cuales 6.3 millones cuentan con infraestructura de riego; esta actividad, utiliza un 78% del agua extraída a nivel nacional. Existen grandes pérdidas de agua en los sistemas de conducción y su uso es poco eficiente en la mayoría de los casos.

La extracción de agua en el uso industrial a pesar de ser muy pequeño en comparación con los demás usos, se ha dificultado por la gran competencia que existe en algunas zonas del país, limitando su desarrollo y estabilidad. Este uso emplea alrededor de 6 km<sup>3</sup>/año, descargando aproximadamente 5.36 km<sup>3</sup>/año de aguas residuales. Los aportes de carga contaminante están concentrados en un número limitado de actividades, destacando la industria azucarera, fábricas de alcohol y bebidas alcohólicas, la industria de papel y celulosa, la química petrolera y alimenticia.

### 1.2.3 Contaminación

Un tema de fundamental importancia es el deterioro de nuestras aguas superficiales, que a la larga inciden en el de las aguas subterráneas.

La mayoría de los cuerpos de agua superficiales del país y algunos acuíferos, reciben la descarga de aguas residuales sin tratamiento, en sus diferentes usos (doméstico, industrial y agrícola o pecuario), lo que ha ocasionado grados variables de contaminación que limitan el uso directo del agua y la disponibilidad real de este recurso para muchas actividades.

Para determinar el grado de contaminación del agua, se emplea el Índice de Calidad del agua (ICA), el cual representa el valor en una escala de 0% a 100% (un valor mayor de ICA indica una mejor calidad del agua); se obtiene a partir de un promedio ponderado de los índices de calidad individuales de 18 parámetros dentro de los que se encuentran el pH, la DBO<sub>5</sub> y los sólidos suspendidos.

La información del ICA a nivel nacional, en el año 2000, indica que de 535 cuerpos de agua superficiales monitoreados, el 27% posibilita su uso prácticamente para cualquier actividad, el 49% se encuentran poco contaminadas restringiendo su uso para algunas actividades y 24% se encuentran contaminados o altamente contaminados haciendo su uso difícil para prácticamente cualquier uso.

## Calidad de las aguas superficiales nacionales

INTERVALO DE ICA	CALIDAD DEL AGUA	% DE CUERPOS % DE AGUA	USO
100-85	Excelente	5	Todo uso
84-70	Aceptable	22	Agua potable con tratamiento convencional
69-50	Poco contaminado	49	Agua potable con tratamiento avanzado
49-30	Contaminado	15	Prácticamente ningún uso directo
29-0	Altamente Contaminado	7	
No aplica	Presencia de tóxicos	2	

En lo particular, el 5% de los cuerpos de agua presentan excelente calidad, lo que los hace aptos para cualquier uso; sin embargo, para el abastecimiento y consumo siempre será requerido el tratamiento de potabilización o al menos la desinfección, para asegurar la calidad bacteriológica y el cumplimiento de la normatividad en materia de agua potable.

El 22% de los cuerpos de agua muestran una calidad aceptable; en el caso de fuente de abastecimiento, se requeriría una planta con tratamiento convencional, y en el resto de los usos del agua, la calidad es apta y satisfactoria.

El 49% de los cuerpos de agua monitoreados resultó poco contaminado, si bien, en caso de utilizarse como fuente de abastecimiento, requeriría un tratamiento avanzado; en caso de uso recreativo, es apta cuando no se tiene contacto directo, pero no es recomendable para contacto directo; para acuicultura es apta en general, pero ciertos organismos acuáticos sensibles, no tendrían un adecuado desarrollo; por último, se considera apta para la mayoría de los usos industriales así como para riego de casi cualquier cultivo.

El 24% de los cuerpos de agua están contaminados o altamente contaminados, por lo que impide su utilización directa en prácticamente cualquier actividad; en contados casos se presenta alguna sustancia tóxica.

Cabe señalar que los principales contaminantes presentes en las aguas de los cuerpos receptores son: coliformes fecales, grasas y aceites, fosfatos, sólidos disueltos y detergentes.

En materia de tratamiento de aguas residuales a diciembre del 2000, se contaba con 1018 sistemas municipales de tratamiento, con una capacidad instalada de 75.9 m<sup>3</sup>/s, de los cuales 793 se encuentran en operación con una capacidad instalada de tratamiento de 45.9 m<sup>3</sup>/s. Se recolectan alrededor de 200 m<sup>3</sup>/s, mediante sistemas de alcantarillado, por lo que sólo se trata alrededor del 23% de las aguas residuales recolectadas, procedentes de localidades urbanas a nivel nacional.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

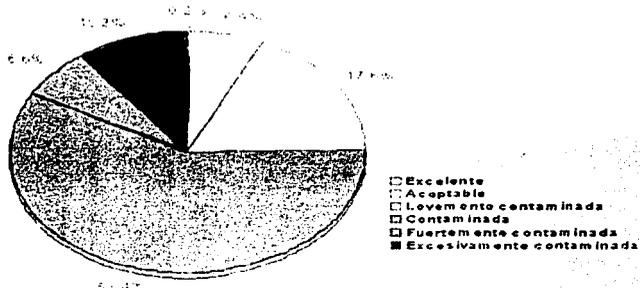
Los procesos de tratamiento para los efluentes municipales son diversos, aunque predominan las lagunas de estabilización y los lodos activados.

En la industria, el tratamiento de aguas residuales a diciembre del 2000: se tienen en inventario 1479 plantas con una capacidad de diseño de 41.5 m<sup>3</sup>/s de las cuales operan 1399 con un gasto de 25.3 m<sup>3</sup>/s, esto implica un 15% de tratamiento de las descargas industriales.

No obstante la importancia que tienen los sistemas de tratamiento de aguas residuales para evitar la contaminación de los cuerpos de agua, la inversión en este rubro es incipiente, ya que se otorga prioridad al servicio de agua potable.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Calidad del agua en estaciones de medición de agua superficial, 1998



### 1.3 Posibles soluciones a la problemática del agua

A continuación se transcribe parte del Foro "Diagnóstico de la Educación Pública", en donde uno de los aspectos tratados fue el uso racional del agua en las escuelas. Este foro se llevó a cabo en el estado de Sonora en agosto del 2001.

#### FORO: "DIAGNOSTICO DE LA EDUCACIÓN PÚBLICA" ZONA NORTE.

Situación y necesidades del sistema educativo del estado de Sonora

#### Uso racional del agua en las escuelas

De todos es conocido el problema que enfrentamos por la carencia de agua en todos los sectores y en gran parte de las regiones de nuestros Estados.

Esta necesidad se traduce en riesgos que pueden poner en peligro la salud de alumnos y docentes, ya sea por la falta de higiene en las instalaciones sanitarias, así como la posibilidad de deshidratación en los niños.

Por otra parte, la falta de agua impide la reforestación de las áreas de recreo y la formación de una tan necesaria cortina de sombra sobre los edificios, que disminuya las altas temperaturas dentro de las aulas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Hemos emprendido programas especiales, ya que la carencia de este vital líquido afecta a nuestras escuelas, conviniendo con los organismos operadores de los sistemas de agua potable, la instalación de tinacos en las escuelas y abasteciéndolas con carros cisterna.

Esta situación nos obliga a pensar con firmeza la creación de una verdadera cultura para el uso racional del agua, que necesariamente debe ser promovida desde el sector educativo. Son los niños los actores más receptivos que generarán este cambio.

Nuestra propuesta es la creación de un fondo especial que promueva el establecimiento de proyectos que racionalicen el consumo, mediante el reúso del líquido de beberederos y lavamanos para reciclarse a través de pequeñas plantas tratadoras para destinarse, finalmente, una parte a los servicios sanitarios y la otra para el riego de árboles y áreas verdes.

Es deseable contar con la participación del Gobierno Federal en esta alternativa, que, seguramente, motivará a los propios maestros, estudiantes y padres de familia a participar con responsabilidad en este proyecto.

### **1.3.1 Uso racional**

Principales problemas relacionados con el agua en el Valle de México:

- Sobreexplotación de los acuíferos. La condición de sobreexplotación, se presenta en forma global con una extracción total que excede en 140% la magnitud de la recarga. Como consecuencia de la extracción excesiva de agua de los acuíferos, se producen fuertes asentamientos en el terreno en algunas zonas de la ZMCM. Estos hundimientos producen agrietamientos del terreno y daños en la infraestructura urbana, difíciles de cuantificar.
- Contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea. La cuenca del río Tula es la más afectada por ser receptora de las aguas residuales provenientes de la ZMCM, de las cuales por poco de 60% es agua residual cruda y 40% restante es de origen pluvial.
- Suministro insuficiente de agua potable. Aun cuando existen grandes obras para el abastecimiento de agua potable en el Valle de México, existen zonas en la que el agua se proporciona de manera intermitente vía la red o mediante pipas.
- Suministro y uso ineficiente de agua para fines agrícolas. El crecimiento de las zonas agrícolas ha rebasado la capacidad de abastecimiento. Deficiente infraestructura para el riego y falta de mantenimiento de la misma.
- Daños por inundaciones. El sistema de drenaje ha estado sujeto a hundimientos generados por la sobreexplotación de las mantos acuíferos. En muchos casos los causes son utilizados como basureros, con lo que se reduce su capacidad de conducción. Especial mención merece el riesgo de inundación de la Ciudad de México en caso de que se presente un problema en los túneles del Sistema de Drenaje Profundo.

- Competencia por el uso del agua. El desarrollo de la agricultura y el empleo de aguas residuales en la región han crecido de manera significativa, el reúso del agua residual para fines industriales y público urbano también ha aumentado y ha dado lugar a una competencia por el uso tanto del agua de primer uso como el agua residual.

## **El horizonte 2025**

El agua es esencial para la vida, pero es un recurso finito. De su cuidado y preservación dependerá que las futuras generaciones puedan disponer de este recurso en cantidad y calidad adecuadas en un entorno que concilie los valores sociales y económicos con los del medio ambiente.

A mediados de la tercera década del siglo XXI se consolidarán las acciones emprendidas para lograr el desarrollo sustentable del agua. Dentro de ellas se encuentran:

- Estabilización de los acuíferos y el saneamiento de las cuencas del país.
- Consolidación de la cultura del buen uso y preservación del agua entre toda la población.
- Madurez técnica y financiera de los organismos operadores de agua y saneamiento.
- Protección a la población y áreas productivas ante los posibles efectos de las inundaciones.

Se continuará con el incremento de la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado de la población y las pérdidas deberán reducirse paulatinamente hasta llegar a un 24%.

Los recursos financieros necesarios para alcanzar las metas del sector hidráulico en el mediano y largo plazos bajo las consideraciones del escenario deseable son en promedio equivalentes al 1.2% del PIB del país, cifra que está muy alejada de los niveles actuales de inversión.

En 1999, el gobierno federal asignó al sector un presupuesto de inversión de 7,800 millones de pesos, que representa el 27% del promedio anual de inversión necesaria para alcanzar las metas de mediano y largo plazos.

### **1.3.2 Tratamiento**

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

Los diversos procesos que se usan para el tratamiento de aguas negras siguen estrechamente los lineamientos de los de autopurificación de una corriente contaminada.

Los dispositivos para el tratamiento solamente localizan y limitan estos procesos a un área adecuada, restringida y controlada, y proporcionan las condiciones favorables para la aceleración de las reacciones físicas y bioquímicas.

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

- Las características y la cantidad de sólidos acarreados por las aguas negras.
- Los objetivos que se propongan en el tratamiento.
- La capacidad o aptitud que tenga el terreno o el agua receptora, para verificar la autopurificación o dilución necesaria de los sólidos de las aguas negras, sin violar los objetivos propuestos.

### **1.3.3 Reúso**

Las opciones de reúso que se consideraron en el presente estudio, prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales para escuelas secundarias técnicas de la SEP, son las siguientes:

- Agrícola
  - a) para productos que se consumen crudos
  - b) para productos que se consumen cocidos o procesados
- Industrial
  - a) para enfriamiento
  - b) para procesos
  - c) para servicios
- Recreativos
  - a) contacto directo
  - b) sin contacto directo
- Municipal
  - a) para riego de áreas verdes
  - b) para limpieza de calles e hidrantes
- Acuicultura
  - a) para cultivos y especies de interés comercial
  - b) para cultivos y especies de interés ecológico
- Recarga de acuíferos
  - a) por infiltración superficial
  - b) por inyección directa

A continuación, se presenta el marco de clasificación de los usos del agua renovada antes mencionados. Para cada uno de dichos usos se establecen los criterios que serán tomados en cuenta para la recomendación de normas de calidad.

### Reúso agrícola

#### a) Productos que se consumen crudos

El agua renovada usada para el riego de cultivos destinados al consumo humano y que se consumen crudos, (una excepción son los frutales cuyas normas de calidad dependen del sistema de riego (aspersión, goteo, etc.).

Criterio de calidad: se considera que las aguas de riego serán utilizadas en forma continua todo el año, en todo tipo de suelo. No se consideran en este criterio condiciones de suelo que pudieran requerir niveles diferentes de calidad del agua. Asimismo, no se considera ningún tratamiento adicional al agua renovada.

#### b) Productos que se consumen cocidos o procesados

El agua residual usada exclusivamente para el riego agrícola de comestibles que se consumen cocidos o procesados.

Criterio de calidad: se considera que las aguas de riego serán utilizadas en forma continua todo el año, en todo tipo de suelo. No se consideran en este criterio condiciones de suelo que pudieran requerir niveles diferentes de calidad del agua. Asimismo, no se considera ningún tratamiento adicional al agua renovada.

### Reúso industrial

#### a) Enfriamiento

**Enfriamiento de un solo paso:** el agua renovada usada por plantas generadoras de energía eléctrica y otras industrias, en intercambiadores de calor sobre la base de un solo paso.

Criterio de calidad: el uso de agua para enfriamiento de un solo paso requiere por lo general de grandes volúmenes, por lo que el criterio se limita a la reducción de contaminantes que pudieran bloquear o sedimentarse en el sistema de enfriamiento. El agua no deberá ser corrosiva.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Enfriamiento con recirculación:** el agua renovada usada por plantas generadoras de energía eléctrica y otras industrias, en intercambiador de calor, recirculando ésta en las unidades de enfriamiento.

Criterio de calidad: estas aguas deberán ser bajas en contaminantes que pudieran producir incrustaciones, bloqueo o la formación de película bacteriana (lama) en el sistema. En este caso se supone que existe control en el incremento de contaminantes en el sistema mediante purgado. Asimismo, el agua no deberá ser corrosiva.

#### b) Procesos

El agua renovada incorporada en los procesos productivos. Con carácter ilustrativo se mencionan algunos reusos posibles:

##### **Industria alimenticia**

El agua renovada empleada para enjuague, lavado, transporte o preparación de productos alimenticios.

Criterio de calidad: en general en este caso el agua deberá de ser de calidad potable para procesos para la producción de vapor que se involucra en el proceso.

##### **Industria de la celulosa y el papel**

El agua renovada empleada en el proceso y molienda de madera, lavado de pulpa y transporte de fibra a través de los procesos de producción.

Criterio de calidad: se limitan contaminantes que pudieran causar bloqueo o crecimiento de lama en el equipo, así como afectar en el color, textura o uniformidad de la pulpa. Se limita, asimismo, la dureza que pudiera causar depósitos y la presencia de contaminantes que pudieran ser corrosivos.

##### **Industria química**

El agua renovada usada para el lavado, transporte y mezclado de productos, así como también el empleado como medio de reacción química. Puede ser dividida en industria química orgánica e industria química inorgánica.

Criterio de calidad: se limitan los contaminantes de tal manera que el agua no cause reacciones químicas desfavorables, o que las retrase. En este caso no se incluye agua para enfriamiento o calderas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Industria del petróleo**

El agua renovada empleada en procesos como refinación, desalación y fraccionamiento, así como medio de transporte y almacenaje de productos. Puede ser dividida en extracción del petróleo, petroquímica básica y petroquímica secundaria.

Criterio de calidad: agua con bajos contenidos de sólidos suspendidos, cloruros y fierro. No se incluye agua para enfriamiento o calderas.

### **Industria metal-mecánica**

El agua renovada usada para el procesamiento de metales ferrosos y no ferrosos.

Criterio de calidad: aguas que puedan considerarse no corrosivas y no formadoras de incrustaciones en el sistema. No se incluye agua para enfriamiento o calderas.

#### **c) Servicios**

El agua renovada usada para el riego de pastos y arbustos (jardines, camellones, etc.) dentro de los límites de zonas industriales, agua para lavado de calles y automóviles, y agua para hidrantes o dispositivos contra incendios.

Criterio de calidad: el agua deberá estar libre de sólidos suspendidos y con una baja turbiedad, a manera de asegurar una muy alta remoción de virus y bacterias. Asimismo, los aerosoles potenciales deberán considerarse bacteriológicamente seguros.

### **Reúso recreativo**

#### **a) Contacto directo**

El agua renovada en la que el ser humano estará sumergido o contacto prolongado con ella. Estas actividades incluyen, entre otras, natación y esquí acuático.

Criterio de calidad: el agua deberá ser estéticamente agradable sin olores molestos, virtualmente libre de sustancias como aceites, grasas, materia flotante y libre de crecimientos de plantas acuáticas que pudieran provocar olor desagradable o dificultades para su uso. Deberá, asimismo, considerarse libre de patógenos y sustancias tóxicas que pudieran causar irritación de los ojos o de la piel. También, el agua deberá ser suficientemente clara para permitir localizar objetos sumergidos, la ingestión de cantidades limitadas de agua no deberá causar enfermedad alguna.

#### **b) Sin contacto directo prolongado**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El agua renovada con la que el ser humano entra en contacto solo, ocasionalmente y por periodos de tiempo limitados. Estas actividades incluyen el remo, chapoteo, veleo, etc.

Criterio de calidad: el agua deberá ser estéticamente agradable, virtualmente libre de sustancias como aceites, grasas, materia flotante y libre de crecimiento masivo de plantas acuáticas que pudieran provocar olor desagradable o dificultades para su uso. La ingestión de cantidades pequeñas de agua no deberá ser peligrosa para la salud.

#### Reúso municipal

a) Riego de áreas verdes

El agua renovada usada para el riego de pastos y arbustos (jardines, camellones, etc.) dentro de los límites de zonas urbanas, como el caso de campos de golf.

Criterios de calidad: el agua deberá estar libre de sólidos suspendidos y con una baja turbiedad a manera de asegurar una muy alta remoción de virus y bacterias.

b) Limpieza de calles e hidrantes

El agua renovada usada para lavado de calles y automóviles, y agua para hidrantes o depósitos contra incendios dentro de los límites de zonas urbanas.

Criterios de calidad: el agua deberá estar libre de sólidos suspendidos y con una baja turbiedad, a manera de asegurar una muy alta remoción de virus y bacterias.

#### Acuicultura

La acuicultura se clasifica en acuicultura de agua caliente y agua fría, ya sea para cultivos y especies de interés comercial o de interés ecológico.

El agua debe de ser capaz de sostener y permitir la prolongación de actividades acuícolas de agua caliente y agua fría.

Criterio de calidad: la calidad del agua deberá poder soportar el crecimiento y la prolongación de peces de agua caliente y de agua fría. Las sustancias que produzcan modificaciones en el sabor del pescado deberán limitarse. Con respecto a otros organismos acuáticos, se deberá indicar qué concentraciones de tóxicos menores que aquellas que afectan a los peces, no son tóxicas para otros organismos acuáticos.

#### Recarga de acuíferos

a) Infiltración superficial

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El agua renovada de calidad equiparable al agua superficial cruda que es apta para consumo humano, procesamiento de alimentos y usos domésticos después de un proceso convencional de potabilización.

Criterios de calidad: aguas de una calidad tal que, después de haber sido sometidas a un tratamiento consistente en coagulación, clarificación, filtración y desinfección, cumplan con las reglas establecidas para el agua potable. En caso de que algún contaminante pudiera interferir con el tratamiento mencionado, la concentración de este contaminante deberá limitarse en la fuente generadora si se desea emplear este uso potencial.

#### b) Inyección directa

El agua renovada de calidad equiparable a la del agua subterránea cruda que es apta para consumo humano, procesamiento de alimentos y usos domésticos con solo un proceso de desinfección.

Criterios de calidad: el agua deberá tener una calidad tal que después de haber sido sometida exclusivamente a cloración, cumpla con las normas establecidas para el agua potable.

### **1.4 Aguas residuales**

Las aguas residuales son aquellas que se generan como producto de su utilización en las diversas actividades del hombre. Una vez que han sido utilizadas, son transportadas mediante sistemas de alcantarillado hacia un sitio de descarga final que generalmente son las fuentes superficiales de agua.

Las aguas residuales domésticas (ARD), son las aguas provenientes de las viviendas, instituciones y establecimientos comerciales, las cuales han sido utilizadas para diferentes actividades de tipo doméstico y finalmente son descargadas al sistema de alcantarillado. Las aguas residuales industriales (ARI), son las que han sido utilizadas en los diferentes procesos de la industria manufacturera y luego descargadas al alcantarillado o a una fuente superficial.

#### **1.4.1 Características de las aguas residuales**

El conocimiento de la naturaleza de los vertimientos es fundamental para la gestión de la calidad del medio ambiente y para el establecimiento de las normas que regulan las concentraciones de los contaminantes presentes en ellos. En la presente sección se hará una descripción de los principales constituyentes y contaminantes de importancia que deben ser tenidos en cuenta en el tratamiento del agua residual.

#### **1.4.1.1 Constituyentes de las aguas residuales**

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica.

Las características físicas más importantes son el contenido total de sólidos, las materias sedimentables, coloidales y disueltas; otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

Las principales características químicas de las aguas residuales son la materia orgánica, la materia inorgánica y los gases presentes.

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica, provienen de los residuos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los principales grupos de sustancias orgánicas los constituyen las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y/o aceites y la urea. Junto con éstas se encuentran también pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas de estructuras simples a complejas. Como ejemplo de ello se encuentran los agentes tensoactivos, los contaminantes orgánicos prioritarios, los compuestos orgánicos volátiles y los pesticidas de uso agrícola.

La demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado tanto para aguas residuales como para aguas superficiales.

La determinación de las concentraciones de los compuestos inorgánicos presentes en las aguas residuales y naturales es de gran importancia puesto que pueden afectar los usos del agua; entre los más importantes podemos mencionar el pH, alcalinidad, los cloruros, el nitrógeno(N) y el fósforo (P).

Algunos compuestos tóxicos inorgánicos son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales; muchos de ellos están clasificados como contaminantes prioritarios: el cobre (Cu), la plata (Ag), el plomo (Pb), el arsénico(As) y el boro (Br), son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, por lo cual deben ser considerados en los proyectos de tratamientos biológicos.

Muchos metales pesados son catalogados como contaminantes prioritarios entre ellos se encuentran: el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el zinc (Zn), el hierro (Fe), y el mercurio (Hg), debido a su gran toxicidad pueden interferir con gran número de los usos del agua.

Los gases que se encuentran con mayor frecuencia en las aguas residuales son: el nitrógeno (N<sub>2</sub>), el oxígeno (O<sub>2</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), el amoníaco (NH<sub>3</sub>), y el metano (CH<sub>4</sub>).

Los principales organismos biológicos presentes en las aguas residuales son las bacterias, las algas, los hongos, protozoos, virus y organismos patógenos.

En la tabla 1.1 se presentan los principales constituyentes en el tratamiento del agua residual.

Tabla 1.1 Principales constituyentes de importancia en el tratamiento del agua residual

CONTAMINANTES	RAZÓN DE LA IMPORTANCIA
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica Biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y el desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitir enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.

CONTAMINANTES	RAZÓN DE LA IMPORTANCIA
Contaminantes Prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados con base en su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia orgánica Refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplo típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos Disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

#### 1.4.1.2 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

En las aguas residuales domésticas (ARD) los principales contaminantes son la materia orgánica biodegradable expresada como demanda biológica de oxígeno (DBO), bacterias, nutrientes,  $\text{NH}_4$ , tóxicos, detergentes y sólidos suspendidos generando impactos en la salud humana y en los hábitat acuáticos.

Entre los contaminantes de importancia en las aguas residuales industriales (ARI) podemos enumerar la materia orgánica total expresada como demanda química de oxígeno, la demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendidos y disueltos y muchos tóxicos de compuestos sintéticos vertidos diariamente a las corrientes de agua y su acción sobre los organismos humanos, la flora y la fauna acuática dependen de la concentración del componente en el residuo, de la capacidad de dilución del agua receptora, de la toxicidad específica sobre el ser humano y de los de susceptibilidad individual.

Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Gran parte de las normas implantadas recientemente, más exigentes, incluyen el control de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios.

Cuando se pretende utilizar el agua residual, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de los compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y algunos sólidos inorgánicos disueltos.

#### **1.4.2 Tratamiento de las aguas residuales**

Los métodos intensivos de tratamiento del agua residual se desarrollaron, en principio, como respuesta a su incidencia en la salud pública y a las condiciones adversas causadas por los vertidos de aguas residuales al medio ambiente. El crecimiento de las ciudades, puso de relieve la importancia de la limitada disponibilidad de terreno necesario para la evacuación del agua residual mediante irrigación. El propósito del tratamiento era acelerar las fuerzas de la naturaleza, bajo condiciones controladas, en instalaciones de tratamiento de tamaño comparativamente menor.

A través del tiempo se han desarrollado varios métodos para el tratamiento de las aguas residuales. En muchos casos se combinan algunos procesos dependiendo de la calidad del agua residual que se va a tratar y el grado que se quiera alcanzar en función del reúso.

##### **1.4.2.1 Clasificación de los métodos de tratamiento**

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

- **Métodos físicos**

Los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como métodos físicos. Dado que la mayoría de estos métodos han evolucionado directamente de las primeras observaciones de la naturaleza efectuadas por el hombre, fueron los primeros en ser usados en el tratamiento del agua residual. Las unidades típicas incluyen mezclado, cribado, floculación, desbaste, sedimentación y filtración.

- **Métodos químicos**

Métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes es provocado por la adición de productos químicos o por otras reacciones químicas. La precipitación, transferencia de gases, adsorción y la desinfección son los principales ejemplos.

En la precipitación química, el tratamiento es llevado a cabo mediante la producción de un precipitado químico que se elimina por sedimentación. En la mayoría de los casos, el precipitado sedimentado contendrá tanto los constituyentes

que puedan haber reaccionado con las sustancias químicas añadidas, como aquellos que hayan sido arrastrados a medida que va sedimentando el precipitado.

La adsorción implica la eliminación de ciertos componentes específicos presentes en el agua residual sobre superficies sólidas, utilizando fuerzas de atracción.

- **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. El tratamiento biológico se usa esencialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que pueden eliminarse por sedimentación. El tratamiento biológico se usa también para la eliminación del nitrógeno contenido en el agua residual.

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 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 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 ( $\text{CH}_4$ ),** 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.**

#### **1.4.2.2 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 1.2 se muestra una relación entre el tipo de contaminante y los procesos que pueden ser aplicados para su remoción. Cabe aclarar que en esta tabla no se incluyen 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.

Tabla 1.2

**Operaciones, procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en el agua residual**

CONTAMINANTES	UNIDAD, PROCESO O SISTEMA DE TRATAMIENTO	CLASIFICACION
<b>Sólidos suspendidos y sedimentables</b>	<b>Cribado y desmenuzado</b>	Físico
	Sedimentación	Físico
	Flotación	Físico
	Filtración	Físico
	Coagulación/Sedimentación	Químico/Físico
<b>Orgánicos biodegradables</b>	<b>Procesos Aerobios</b>	Biológico
	Lodos Activados	Biológico
	Filtro Percolador	Biológico
	Discos Biológicos Rotatorios	Biológico
	Lagunas Aireadas	Biológico
	Lagunas Aerobias	Biológico
	<b>Procesos Anaerobios</b>	Biológico
	Fosa Séptica	Biológico
	Tanque Imhoff	Biológico
	Laguna Anaerobia	Biológico
	Filtro Anaerobio	Biológico
	Reactor Lecho de Lodos con Flujo Ascendente ( UASB )	Biológico
	<b>Desinfección con:</b>	Químico
	Cloro	Químico
	Dióxido de cloro	Químico
Hipoclorito de calcio	Químico	
hipoclorito de sodio	Químico	
Ozonización	Químico	
Luz Ultravioleta	Químico	
<b>Nutrientes</b>	Nitrificación y desinfección con biomasa suspendida	Biológico
	Nitrificación y desinfección con biomasa fija	Biológico
<b>Fósforo</b>	Arrastre con amoníaco	Químico / Físico
	Intercambio iónico	químico
	Cloración en el punto de quiebre	Químico
	Coagulación/Sedimentación con sales	Químico/ Físico
	Coagulación/Sedimentación con cal	Químico/ Físico
Remoción bioquímica	Biológico	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

<b>Orgánicos Retractos</b>	Adsorción con carbón activado Ozonación	Físico Químico
<b>Metales pesados</b>	Precipitación química Intercambio iónico	Químico Químico
<b>Sólidos inorgánicos disueltos</b>	Intercambio iónico Osmosis Inversa Electrodialisis	Químico Físico Químico

## 1.5 Tipos de plantas de tratamiento para aguas residuales

### 1.5.1 Procesos biológicos

Para entender qué es la materia orgánica, se analizará cómo están formados los seres vivos. La materia viva está formada por: agua, sales minerales, azúcares, grasas y proteínas: los árboles, animales, bacterias y el hombre, todos están formados esencialmente por estos cinco tipos de compuestos.

Los compuestos están formados por diferentes combinaciones de elementos. Se han descubierto 103 elementos en la naturaleza, que son como las piezas de un juego de armar; todo lo que existe en la tierra, y en el resto del universo, está formado por combinaciones de algunas de estas 103 piezas.

Según como se armen estas piezas los químicos han dividido a todos los compuestos en inorgánicos y orgánicos (algo similar a como los biólogos dividieron a los seres vivos en plantas y animales).

Clasificaron como orgánicos a todos aquellos que se parecían (que tenían la misma configuración, los mismos elementos y las mismas propiedades) a los compuestos que sólo los seres vivos podían formar a partir de los otros compuestos o elementos naturales. Éstos tienen la característica de estar formados por carbono C, hidrógeno H y oxígeno O.

De la lista de compuestos que forman la materia viva, se clasifican a algunos de ellos como orgánicos y a otros como inorgánicos. Entre los inorgánicos se tienen al agua y a las sales minerales, en tanto que los orgánicos se clasifican en azúcares (glúcidos), grasas (lípidos) y proteínas (prótidos).

En la materia viva se han encontrado hasta 62 de los 103 elementos, como componentes naturales, pero sólo seis son los fundamentales.

Éstos son el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo, los siguientes seis más abundantes son el sodio, potasio, calcio, magnesio, fierro y cloro.

## Síntesis de la materia orgánica

No todos los seres vivos pueden producir la materia orgánica. El núcleo fundamental de la materia orgánica sólo lo pueden producir los organismos que se alimentan "ellos mismos" a través de los compuestos inorgánicos. Por ello se llaman autótrofos, a diferencia de ellos, todos los demás se llaman heterótrofos.

Algunos, muy pocos, organismos autótrofos pueden sintetizar la materia orgánica por medio de reacciones químicas (la energía necesaria para sintetizar la toman de una reacción química) y por eso se llaman quimiosintéticos.

La mayor parte de los compuestos orgánicos sintetizados se obtienen aprovechando la energía solar y por ello se llaman, a los organismos capaces de realizar esta actividad, como fotosintéticos.

## Fotosíntesis

Durante la fotosíntesis, las células que contienen clorofila, en las plantas verdes, usan la energía del sol para convertir el bióxido de carbono y el agua en materia orgánica. En el proceso se desprende oxígeno a la atmósfera. La materia orgánica que se produce es un carbohidrato, que al agregarle otros elementos, se transforma en otros compuestos orgánicos (como proteínas o celulosa).

La reacción química que se presenta es la siguiente:

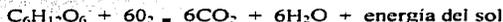


Entonces, las plantas verdes proveen la fuente de energía básica para las plantas y para los demás seres vivos y el componente fundamental para construir otros compuestos orgánicos más complejos.

Todo organismo, para subsistir, necesita de energía; todos los procesos vitales, como crecimiento, reproducción, regeneración de tejido y movilidad consumen energía.

Los seres vivos aprovechan esta energía almacenada siguiendo el proceso inverso al de la fotosíntesis.

La respiración es el proceso opuesto a la fotosíntesis, mediante ella los organismos derivan energía mediante la combustión de la materia orgánica. La respiración para cada ser viviente es un proceso continuo, la fotosíntesis sólo puede llevarse a cabo en presencia de luz. La reacción que explica el fenómeno de la respiración es la siguiente:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Este es el proceso que realizan los organismos que necesitan oxígeno libre para vivir y que se han llamado organismos aerobios (hombre, plantas, bacterias): como se ve, este proceso destruye (o descompone) la materia orgánica. Durante la alimentación se asimila la materia orgánica, la que después es destruida al respirar.

Pero no todos los organismos requieren de oxígeno libre para vivir, hay algunos microorganismos (bacterias) que pueden consumir la materia orgánica sin presencia de oxígeno libre, estos organismos son llamados anaerobios.

Si el proceso de conversión de la materia orgánica consumida a energía fuera 100% eficiente, el agua residual no conduciría materia orgánica proveniente de la materia fecal. Pero el proceso no es eficiente, así que en las heces se encuentra todavía una gran cantidad de materia orgánica.

Por otro lado, los organismos vivos no sólo requieren de azúcar para subsistir, sino que necesitan de otros elementos como nitrógeno, fósforo y azufre que también son desechados del cuerpo. Tal es el ejemplo de la urea, que es un compuesto de nitrógeno, que se descompone rápidamente a amoníaco.

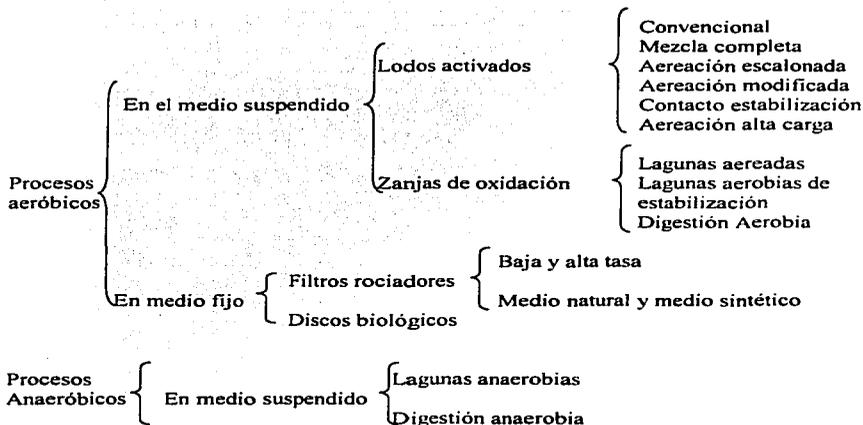
También los organismos al morir constituyen un desecho formado por materia orgánica. Es cierto que no llegan animales superiores recién muertos con las aguas residuales a la planta de tratamiento, pero sí es posible la presencia de residuos de animales y vegetales, usados para la alimentación humana.

Para transformar los desechos que llegan a las plantas de tratamiento, y que todavía tienen los elementos necesarios para servir de alimento, se decidió aprovechar la presencia de microorganismos que los pudieran consumir. De aquí surgieron los procesos biológicos de tratamiento.

El problema de tratamiento de la materia orgánica se complica por la creciente descarga al drenaje de sustancias orgánicas sintéticas. El hombre ha encontrado la forma de producir o sintetizar materia orgánica, principalmente a partir de derivados del petróleo (productos químicos diversos, pesticidas, detergentes), que muchas veces son tóxicas y difíciles de remover del agua residual.

Existen muchos métodos de tratamiento biológico de las aguas residuales, algunos son aerobios y otros anaerobios, algunos emplean algún medio sólido para propiciar el crecimiento de las colonias de organismos y otros permiten que el ecosistema se establezca en el medio acuático directamente. El siguiente cuadro sinóptico presenta una clasificación de los procesos biológicos de tratamiento:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### Proceso de lodos activados

En el proceso de lodos activados el agua residual se estabiliza biológicamente en un reactor, que es un tanque donde se mantiene una base bacteriana, llamada lodo activado. La estabilización de la materia orgánica tiene lugar bajo condiciones aerobias, las que se logran a base de inyección mecánica de aire o por difusión de oxígeno.

Normalmente no es necesario agregar otros nutrientes al agua, aunque, en caso de presentarse deficiencia de alguno de ellos, se deberán agregar.

Al contenido del reactor se le denomina licor mezclado. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al reactor. Otra parte de los lodos son eliminados o purgados fuera del sistema, puesto que de no ser así, la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más.

El nivel al cual se debe mantener la masa biológica depende de la eficiencia deseada del tratamiento y de otras consideraciones referentes a la cinética del tratamiento.

### Tipo de procesos y variantes

El proceso de lodos activados es muy flexible y puede adaptarse a casi cualquier tipo de problema relativo al tratamiento biológico de aguas residuales. En la tabla 1.3 se muestran algunas características de operación (incluyendo su eficiencia) y en la tabla 1.4 se muestran los parámetros de diseño.

Tabla 1.3 **Características de operación de los procesos de lodos activados**

<b>Modificación del Proceso</b>	<b>Modelo de flujo</b>	<b>Sistema de alimentación</b>	<b>Eficiencia Eliminación DBO%</b>	<b>Aplicación</b>
Convencional	En pistón	Aereadores mecánicos difusores	85 - 90	Aguas residuales domésticas débiles, susceptibles de cargas sólidas
Mezcla completa	Mezcla completa	Aereadores mecánicos difusores	85 - 95	Aplicación general resistentes a cargas sólidas aereadores de superficie
Aereación escalonada	En pistón	Difusores	85 - 95	Aplicación general a gran variedad de residuos
Aeración modificada	En pistón	Difusores	60 - 75	Grado intermedio del tratamiento en el que el tejido celular en el efluente no supone inconveniente alguno
Contacto estabilización	En pistón	Aereadores mecánicos difusores	80-90	Expansión de los sistemas existentes, plantas compactas flexible

<b>Modificación del Proceso</b>	<b>Modelo de flujo</b>	<b>Sistema de alimentación</b>	<b>Eficiencia Eliminación DBO%</b>	<b>Aplicación</b>
Aeración prolongada	Mezcla completa	Aereadores mecánicos difusores	75-95	Pequeñas comunidades, plantas compactas, flexible aereadores de superficie
Proceso de Kraus	En pistón	Difusores	85-95	Residuos muy resistentes de poco contenido en nitrógeno
Aeración de alta carga	Mezcla completa	Aereadores mecánicos	75-90	Uso con aereadores de turbina para transferir oxígeno y controlar el tamaño del floculo, aplicación general
Sistemas de oxígeno Puro	Reactores en serie de mezcla completa	Aereadores mecánicos	85-95	Aplicación general se aplica cuando se dispone de volumen limitado, utilización próxima a la fuente económica del oxígeno, turbina o aereadores superficiales.

Tabla 1.4 **Parámetros de diseño para procesos de lodos activados**

Modificación del proceso	Θc días	Parámetros				
		U, Kg DBO <sub>5</sub> /Kg SSVLM-día	Carga volumétrica Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup>	SSVLM Mg/l	V/Qi horas	Qr /Q
Convencional	5-15	0.2-0.4	0.32-0.64	1500-3000	4-8	0.25-0.5
Mezcla completa	5-15	0.2-0.6	0.8-1.92	3000-6000	3-5	0.25-1.0
Aereación escalonada	5-15	0.2-0.4	0.64-0.96	2000-3500	3-5	0.25-0.75
Aereación modificada	0.2-0.5	1.5-5.0	1.20-2.4	200-500	1.5-3	0.05-0.15
Contacto y estabilización	5-15	0.2-0.6	0.96-1.20	(1000-3000) *	(0.5-1.0) *	0.25-1.0
Aereación prolongada	20-30	0.05-0.15	0.16-0.4	(4000-10000) **	(3-6) **	0.75-1.50
Proceso Kraus	5-15	0.3-0.8	0.64-1.6	3000-6000	18-36	0.5-1.0
Aereación alta carga	5-10	0.4-1.5	1.6-16	2000-3000	4-8	1.0-5.0
Sistema oxígeno puro	8-20	0.25-1.0	1.6-4	4000-10000	0.5-2	0.25-0.5

\* Unidad de contacto

\*\* Unidad de estabilización de ácidos

Θc: tiempo promedio de vida del lodo en días.

**Demanda bioquímica de oxígeno (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.

**Demanda bioquímica de oxígeno día 5: (DBO<sub>5</sub>):** cantidad de oxígeno consumido por la actividad metabólica de microorganismos en un periodo de cinco días a 20 °C, considerando la suma de las concentraciones solubles y en suspensión.

**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.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La DBO del agua residual doméstica es normalmente mayor que la DBO<sub>5</sub>.

**SSVLM (sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado):** es una medida indirecta de la cantidad de microorganismos o biomasa existente, en un momento dado, en el tanque de aereación, se determina en el laboratorio (mg/l).

**Carga orgánica volumétrica:** es la cantidad de materia orgánica aplicada por metro cúbico y por unidad de tiempo. Se calcula dividiendo la DBO o la DQO entre el gasto.

**Q<sub>i</sub>:** gasto del influente.

**DQO<sub>i</sub>:** concentración de materia orgánica en el influente al tanque de aereación (mg/l).

**V<sub>a</sub>:** volumen del tanque de aereación en m<sup>3</sup>.

**SSVLM<sub>a</sub>:** concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado actual (o existente en ese momento en el tanque).

**SSVLM<sub>d</sub>:** concentración de sólidos suspendidos volátiles calculada en el primer paso.

**SSV<sub>r</sub>:** concentración de sólidos suspendidos volátiles en la recirculación.

**F/M:** relación de alimento-microorganismos.

**TMRC:** tiempo medio de retención celular, es el tiempo promedio de días, que un microorganismo permanece en el proceso de tratamiento.

## **1.5.2 Procesos de lodos activados más comunes**

### **1.5.2.1 Convencional**

El proceso convencional de los lodos activados consiste en un tanque de aeración, un clarificador secundario y una línea de retorno de lodos; la purga de lodos se puede realizar indistintamente desde la conducción del licor mezclado o desde la de retorno de lodo. El modelo de flujo es tipo de pistón con recirculación celular. Tanto el agua residual efluente sedimentada, como el lodo de recirculación entran al tanque por un extremo y son aereados durante un período de 6 horas. Ambos son mezclados por la acción de la aeración mecánica y por difusores de aire que permanecen constantes conforme el licor mezclado se desplaza a lo largo del tanque. Durante este período se produce la absorción, floculación y oxidación de la materia orgánica.

El licor mezclado se hace sedimentar en un tanque para clarificación de aproximadamente de 25% a 50% del gasto influente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **1.5.2.2 Mezcla completa**

El proceso de mezcla completa intenta imitar el régimen hidráulico existente de un reactor agitado mecánicamente. El agua residual efluente es sometida a sedimentación y el lodo de retorno se introduce en diversos puntos del tanque de aeración a lo largo de un canal central.

El licor mezclado es aereado conforme pasa desde el canal central a los canales de salida situados a ambos lados del tanque de aeración. El efluente del tanque de aereación es sometido a sedimentación obteniendo lodo activado.

La carga orgánica en el tanque de aereación y la demanda de oxígeno son uniformes de uno a otro lado del tanque. El licor mezclado al ir atravesando el tanque de aereación, desde la entrada hasta el canal efluente, está completamente mezclado por medio de la aereación mecánica o por difusores de aire.

### **1.5.2.3 Aereación graduada**

El objetivo que persigue la aeración graduada es acoplar la cantidad de aire suministrada a la demanda de los microorganismos, conforme el agua atraviesa el tanque de aereación.

La aeración graduada afecta únicamente a la disposición de los difusores en el tanque de aeración y a la cantidad de aire consumido. Su uso está muy extendido y, en un sentido estricto, se trata en realidad de una modificación del proceso convencional.

La demanda de oxígeno es muy grande en la entrada del tanque de aereación, donde el agua residual sometida a sedimentación y el lodo activado de retorno, entran en contacto por primera vez. Los difusores se colocan a intervalos pequeños iguales para lograr una tasa elevada de oxigenación y satisfacer así la demanda. A medida que el licor mezclado atraviesa el tanque de aereación, tiene lugar la síntesis de nuevas células, aumentando el número de microorganismos y disminuyendo la concentración de alimento disponible, dando como consecuencia un descenso en la demanda de oxígeno.

El espaciamiento entre los difusores aumenta entonces hacia la salida del tanque a fin de reducir la tasa de oxigenación.

### **1.5.2.4 Aereación escalonada**

El proceso de aeración escalonada es una modificación del proceso de lodos activados en el que se introduce el agua residual en distintos puntos del tanque de aeración para igualar la relación entre alimentos y microorganismos en todo el tanque, disminuyendo con ello la demanda pico de oxígeno.

El tanque de aereación se subdivide por medio de unos deflectores en cuatro canales paralelos, o más. Cada canal es una fase o escalón individual y las distintas fases se

conectan entre sí en serie. El lodo activado de retorno entra en la primera fase del tanque de aereación junto con parte del agua residual sedimentada.

El sistema de conducciones esta dispuesto de tal modo que en cada fase se introduce agua residual en el tanque de aereación. Una de las características más importantes de este proceso es su flexibilidad.

Sin embargo, en la aereación escalonada la demanda de oxígeno se distribuye más uniforme a todo lo largo del tanque de aereación, dando como resultado una mejor utilización del oxígeno suministrado.

### Tipos de reactores

Una de las consideraciones más importantes en el diseño de cualquier proceso o sistema de tratamiento biológico es la selección del tipo de reactor o reactores que van a utilizarse. Los recipientes, tanques o depósitos en los que se llevan a cabo las reacciones químicas y biológicas se llaman reactores.

Existen cuatro tipos principales de reactores para el tratamiento biológico de aguas residuales y se clasifican según sus características de flujo hidráulico en:

1. Reactores de flujo discontinuo.
2. Reactores de flujo en pistón.
3. Reactores de mezcla completa.
4. Reactores de flujo arbitrario.

*Reactores de flujo discontinuo:* en cuanto al tipo de escurrimiento, se caracteriza porque el caudal no entra ni sale en forma continua.

*Reactores de flujo en pistón:* las partículas del fluido pasan a través del tanque y son descargadas en el mismo orden que entran.

Las partículas conservan su identidad y permanecen en el tanque durante un tiempo igual al tiempo teórico de retención.

Este tipo de flujo es el que aproximadamente se presenta en tanques alargados con una relación largo-ancho-alto, y en los que no existe dispersión longitudinal. Si en dicho tanque se inyectase un gasto continuo de un trazador, de forma que se produjese una concentración Co. la aparición del trazador en el efluente seguiria una distribución normal.

*Reactores de mezcla completa:* la mezcla completa tiene lugar cuando las partículas que entran en el tanque son inmediatamente dispersadas por todo el recinto. Las partículas salen del tanque en proporción a su población estadística.

La mezcla completa se lleva a cabo en tanques redondos o cuadrados si el contenido de aquellos está uniforme y continuamente distribuido. Si se inyectase por la entrada un flujo continuo de un trazador no reactivo a una concentración  $C_0$ , la forma de presentarse el trazador en la salida correspondería a una línea recta.

*Reactores de flujo arbitrario:* representa cualquier grado de mezcla parcial comprendido entre el flujo de pistón y el de mezcla completa. Este tipo de flujo se produce con frecuencia en los tanques de sedimentación y de aireación.

### 1.5.3 Métodos de aireación

Los dos métodos básicos para aerear agua residual son:

1. Introducir aire u oxígeno puro por medio de difusores porosos sumergidos o boquillas.
2. Agitar mecánicamente el agua residual de modo que se promueva la disolución del oxígeno de la atmósfera.

Un sistema de aireación por difusores está formado por difusores sumergidos en el agua residual, brazos de aireación, conducciones de aire, sopladores y accesorios, a través de los que pasa el aire. Los difusores generalmente utilizados están diseñados para que produzcan burbujas pequeñas o relativamente grandes.

Los difusores de orificio pequeño, diseñados para producir burbujas pequeñas, son tubos o placas construidos con granos de óxido de silicio u óxido de aluminio pegados unos a otros con una pasta de tipo cerámica para formar una masa porosa.

Los aereadores mecánicos se utiliza generalmente de dos tipos: los de superficie y los de turbina.

En los aereadores mecánicos, el oxígeno introducido proviene del que se encuentra en la atmósfera, mientras que en el segundo el oxígeno se introduce forzado, como en el caso de la aireación con difusores.

En cualquier caso, la acción del aereador y de la turbina ayuda a mantener mezclados los contenidos del tanque de aireación.

Los aereadores mecánicos de superficie son los más sencillos de los sistemas de aireación: consisten en rotores sumergidos total o parcialmente, montados en el centro del depósito de aireación y que agitan energicamente el agua residual, introduciendo aire en ella y motivando un rápido cambio de la interfase aire-agua que facilita la disolución del aire.

Los aereadores mecánicos de turbina, en su mayoría son de tipo de flujo ascendente, y basan su eficiencia en la agitación violenta de la superficie y en el arrastre de aire. Sin

embargo, pueden igualmente introducirse oxígeno puro o aire en el agua residual por difusión debajo del impulsor de los aeradores de flujo descendente, utilizándose el impulsor para dispersar las burbujas de aire y mezclar el contenido del tanque.

Puede utilizarse un tubo de aspiración en modelos tanto de flujo ascendente como descendente para controlar la configuración de la corriente del líquido circundante dentro del tanque de aereación.

El tubo de aspiración consiste en un cilindro con extremos ensanchados montados concéntricamente respecto al impulsor y que se extiende exactamente desde encima de la solera del tanque de aereación hasta por debajo del impulsor.

#### **1.5.4 Operación de sistemas a base de lodos activados**

##### **Parámetros de control**

El tratamiento secundario tiene como objetivo remover del agua residual la mayor cantidad posible de materia orgánica.

Una de las técnicas más empleadas en el tratamiento secundario es el proceso de lodos activados.

En forma simple, puede decirse que mediante este proceso una parte importante de la materia orgánica presente en las aguas residuales es aprovechada como alimento por ciertos microorganismos (biomasa) que viven en el sistema, los que producen, a partir de ella, substancias estables, bióxido de carbono y agua; a esta transformación de la materia orgánica se le denomina biodegradación.

Los microorganismos requieren, para poder respirar, la presencia de una cantidad suficiente de oxígeno en el agua.

Después de que el agua residual sale del sedimentador primario se envía a un tanque de aereación donde es mezclado con aire, con el doble propósito de que los microorganismos tengan el oxígeno necesario para respirar y de que la materia orgánica se ponga en contacto con la biomasa durante varias horas.

Al agua contenida en el tanque se le llama licor mezclado. En el licor mezclado se pueden observar grumos, que están formados por agrupaciones de materia orgánica y microorganismos, de apariencia esponjosa y color pardo a los que se llama flóculos o lodos activados.

El licor mezclado se envía al sedimentador secundario donde los flóculos se separan del agua y, por ser más pesados, se depositan en el fondo del tanque.

El sistema de rastras los conduce hacia las tolvas, de donde son extraídos para regresar parte de ellos al tanque de aireación o para desechar otra parte (purga).

Al regresar los lodos activados al tanque de aireación, el número de organismos en el licor mezclado aumenta considerablemente; mediante el retorno de lodos (recirculación) y en la purga puede mantenerse la concentración deseada de la biomasa en el tanque de aireación.

El agua ya clarificada es colectada en las canales de sedimentador secundario y se conduce al siguiente proceso de la planta que es la desinfección.

El proyecto de tratamiento secundario se realiza empleando parámetros de diseño y sus valores se obtienen a través de experimentos de laboratorio y como resultado de las experiencias en otras plantas de tratamiento.

Estos mismos parámetros sirven para evaluar el funcionamiento de la planta y, algunos de ellos, para controlar la operación. Los parámetros importantes son:

**Tiempo de retención hidráulico ( $T_{rh}$ ):** se obtiene dividiendo el volumen del tanque entre el gasto de entrada, y es el tiempo que el agua permanecerá en el tanque.

**Carga orgánica volumétrica:** es la cantidad de materia orgánica aplicada por metro cúbico y por unidad de tiempo. Se calcula dividiendo la DBO o la DQO entre el gasto.

**Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM):** es una medida indirecta de la cantidad de microorganismos o biomasa existente, en un momento dado, en el tanque de aireación. Se determina en el laboratorio.

**Factor de carga (F/M):** es la relación que existe entre la cantidad de alimento (F) y la cantidad de microorganismos (M) en el tanque de aireación.

**Tiempo medio de retención celular (TMRC):** es el tiempo promedio de días, que un microorganismo permanece en el proceso de tratamiento.

**Tasa de recirculación de lodos (r):** indica el porcentaje del gasto de entrada que es retornado al tanque de aireación.

**Gasto de purga (Qp):** cantidad de licor mezclado que se desecha del sistema.

Como el proceso de lodos activados consiste en mantener una biomasa activa, es necesario tener en cuenta los siguientes factores que permitirán que los microorganismos vivan en condiciones adecuadas.

Es menester proporcionar un adecuado suministro de oxígeno, lo que se realiza mediante la difusión de aire comprimido en el tanque de aireación, o mediante aereadores mecánicos superficiales.

El oxígeno es indispensable para la respiración de los microorganismos y además sirve para mezclar el agua residual que entra al tanque con los microorganismos.

Por ello, la cantidad de oxígeno requerida depende de la carga orgánica aplicada, de la cantidad y calidad de los lodos activados y de la eficiencia del proceso.

En cualquier caso la cantidad de aire suministrada debe permitir que el valor mínimo de oxígeno disuelto del licor mezclado sea de 3.0 mg/l.

En algunas ocasiones las aguas residuales no contienen todos los elementos nutritivos que requiere la biomasa, resulta entonces necesario añadirseles al sistema.

Pudieran existir deficiencias de fósforo y nitrógeno, los que se agregarían en forma de fosfatos y de urea.

En la ciudad de México, debido a las características de las aguas residuales, no es probable que se presenten estas deficiencias.

Para controlar la cantidad de organismos en el licor mezclado, de tal forma que estén en proporción con el alimento disponible, se recurre a la recirculación de los lodos activados acumulados en las tolvas del tanque de sedimentación secundaria y a la purga de lodos.

La presencia de algunas sustancias ocasiona la destrucción de la biomasa u otros efectos, como el retardo en su crecimiento y alteraciones celulares. Además, estas sustancias pueden representar un riesgo a la salud por el uso de las aguas tratadas. Especialmente importantes resultan ser las sustancias tóxicas, como los metales pesados y algunos compuestos orgánicos sintéticos.

Otros tres factores importantes para el desarrollo de la biomasa son el pH, la temperatura y el contenido de sales disueltas.

La mayoría de las bacterias puede desarrollarse en aguas con valores de pH entre 6.5 y 8.5, el contenido de sales disueltas es importante, ya que de ellas la biomasa extrae los elementos necesarios para su desarrollo, sin embargo, a partir de 8 g/l se dificulta la floculación y sedimentación de los lodos.

### **1.5.5 Técnicas de control de proceso**

Durante mucho tiempo el proceso de lodos activados fue operado siguiendo la experiencia del personal más antiguo de la planta, sin embargo las características cada vez más complejas de las aguas residuales, debido a la presencia de descargas industriales al sistema de alcantarillado, y a la necesidad de producir un agua tratada de la mejor calidad posible, ha hecho indispensable contar con técnicas más precisas de control de proceso, las más empleadas son:

1. Relación alimento-microorganismos (F/M)
2. Tiempo medio de retención celular (TMRC)

### *Relación alimento-microorganismos (F/M)*

Esta técnica se utiliza para asegurar que existen suficientes microorganismos para utilizar la carga orgánica que recibe el sistema, aun cuando ésta sea variable. Los valores recomendados de la relación F/M son de 0.1 a 0.5 cuando la cantidad de alimento se mide como DBO y de 0.16 a 0.8, cuando se emplea la DQO.

Para definir el valor más conveniente resulta esencial que el operador lleve un registro detallado del comportamiento de la planta, apoyándose en la información que genere el laboratorio.

Para el cálculo de la relación F/M se necesitan los siguientes datos:

- Concentración de materia orgánica en el influente al tanque de aereación. DQO<sub>i</sub>, en mg/l
- Gasto del influente (Q<sub>i</sub>) en l/ s
- SSVLM en mg/l
- Volumen del tanque de aereación (V<sub>a</sub>) en m<sup>3</sup>

Los cuales se aplican a la siguiente fórmula:

$$F/M = \frac{DQO_i \times Q_i \times 86.4}{SSVLM \times V_a}$$

Cuando en un momento de la operación, el valor es mayor al intervalo recomendado, debe suspenderse la purga de lodos, manteniendo la recirculación, hasta lograr que la relación F/M se ajuste a los valores deseados.

En caso contrario se procederá a determinar el gasto de purga como se presenta a continuación.

La determinación del gasto de purga, con base en la relación F/M, se realiza de la siguiente manera:

Primero: determinación de los SSVLM necesarios (SSVLM<sub>d</sub>) para alcanzar la F/M deseada mediante el cálculo de la siguiente expresión.

$$SSVLM \text{ (mg/l)} = \frac{DQO \times Q_i \times 86.4}{F/M \times V_a}$$

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Segundo: obtención del gasto de purga para mantener el valor de la F/M deseada, a través de la solución de la siguiente fórmula:

$$Q_p = \frac{SSVLMa - SSVLMd \times V_a}{SSVr \times t \text{ día}}$$

donde:

**SSVLMa:** concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado actual (o existente en ese momento en el tanque).

**SSVLMd:** concentración de sólidos suspendidos volátiles calculada en el primer paso.

**SSVr:** concentración de sólidos suspendidos volátiles en la recirculación.

#### *Tiempo medio de retención celular (TMRC)*

Consiste en seleccionar un TMRC para el cual se produce un efluente de la calidad requerida. Este valor corresponderá al valor de la relación F/M para la cual se ha diseñado el proceso; por ejemplo, un proceso que este operando con valores de F/M en el intervalo recomendado puede no producir un efluente de buena calidad, por lo que la elección del mejor TMRC debe efectuarse relacionando los valores de F/M, DQO o DBO del influente y SSVLM.

El caudal de purga necesario para mantener un valor constante del TMRC puede calcularse de la siguiente manera:

$$Q_p = \frac{SSVLMa \times V_a}{TMRCd \times SSVr}$$

donde:

**TMRCd:** tiempo medio de retención celular deseado.

Además de las técnicas mencionadas, existen otras más que son aplicables en una planta de lodos activados.

### **1.5.6 Problemas operativos**

La operación de una planta de tratamiento está lejos de ser una actividad sencilla, por el contrario, debido a los múltiples factores que intervienen en el proceso en sí, es muy probable que se tengan frecuentes problemas de operación, los cuales, si son atacados en la forma apropiada, podrán ser resueltos sin mayores contratiempos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Generalmente, la inspección visual de la planta resulta una guía confiable del funcionamiento para un operador experimentado, en este sentido se tiene que existen varios factores que pueden ser indicativos de condiciones indeseables en el proceso, por ejemplo:

- El color del licor mezclado o de las muestras de lodos puede indicar la presencia de desechos industriales no usuales; cuando adquiere un color muy oscuro o negro es muy probable que se tengan condiciones anaerobias por falta de oxígeno. El color parduzco es indicativo, generalmente, de un lodo suficientemente activo.
- Una pequeña cantidad de espuma blanca en el tanque de aeración será indicativa de un sistema bien operado, por el contrario, un crecimiento muy grande de espuma será señal de que opera con Tiempos Medios de Residencia Celular insuficientes.
- Una capa de natas oscuras en el sedimentador secundario o tanque de aeración indicará, generalmente, la entrada de grasas y aceites en el sistema, o bien, una sobreoxidación de los lodos por causa de TMRC muy altos; las grasas y aceites son difíciles de remover si no se cuenta con un sistema de desnatadores apropiado. El TMRC puede disminuirse aumentando la purga de lodos, como se ha visto anteriormente.
- El abultamiento de lodos puede observarse en la prueba de sedimentabilidad o por observación microscópica. Este problema puede controlarse mediante la adición de peróxido de hidrógeno y cloro, incrementando el nivel de oxígeno disuelto, verificando que la proporción de nutrientes sea la adecuada o incrementando el TMRC.
- La presencia de lodos flotados en el sedimentador secundario denota que el sistema de aeración está funcionando hasta alcanzar la nitrificación. Esta situación se evita incrementando la tasa de recirculación o bien reduciendo el TMRC.

Es común en el proceso de lodos activados que durante la operación se presenten situaciones anormales, determinar su causa y aplicar las medidas correctivas son funciones propias de un buen operador. Las siete causas más comunes de problemas en la operación son:

1. Problemas del sistema de aeración
2. Problemas por espuma en el tanque de aeración
3. Arrastre de sólidos en el efluente del sedimentador secundario
4. Abultamiento de lodos
5. Lodos aterronados
6. Efluente del secundario turbio
7. Flóculos pequeños y dispersos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPÍTULO II MARCO DE REFERENCIA**

### **II.1 Situación actual de las escuelas secundarias de la SEP**

Actualmente, las escuelas secundarias de la SEP no cuentan con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, por lo que el efluente de sus aguas residuales corresponde al consumo de las mismas, estimado en  $36.3 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Los espacios, en la mayoría de las escuelas secundarias, están limitados y por lo tanto, se dificulta la adaptación de un sistema de tratamiento. Se cuenta por lo general, con las canchas de básquetbol o los espacios de recreo; en éstos es donde se puede contemplar la instalación de una planta de tratamiento.

Las instalaciones hidráulicas de las escuelas secundarias, en la actualidad, están compuestas de una alimentación, una red de distribución hacia tinacos y otra de tinacos a los diferentes usos de la propia escuela (laboratorios, sanitarios, lavabos, bebederos, talleres, etc.).

No existe la posibilidad de reúso del agua actualmente en este tipo de instituciones provocando el desperdicio del agua y su uso irracional.

La educación por el cuidado del medio ambiente no es impactante en la actualidad, ya que falta el ejemplo de la misma institución, para mostrar alternativas del uso apropiado del agua, y por lo tanto del cuidado del medio ambiente.

Si esta situación la llevamos a zonas del país donde la escasez del agua es uno de los problemas fundamentales, la situación anterior es intolerable.

Además el pago por el servicio de agua potable no se lleva a cabo por estas instituciones y, por estas razones, la educación ambiental sobre los alumnos está muy lejos de darse, ya que no basta con indicarlo en los libros de texto o con explicaciones de los profesores, impacta más el ejemplo.

La educación por el cuidado del medio ambiente debe ser más agresiva, es verdad que se requiere de inversiones, pero debemos empezar ya.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## II. 2 MARCO LEGAL

El término "calidad del agua" es un concepto abstracto que sólo adquiere sentido cuando se selecciona un conjunto de parámetros y se les asocia un valor determinado para definirla. La amplia combinación de compuestos y valores que se pueden considerar hace que, en la práctica, se formen conjuntos en función del uso (criterios ecológicos y el reglamento de agua potable), del origen (Normas Oficiales Mexicanas de descargas) o del destino (condiciones particulares de descarga, CPD).

La normatividad que se relaciona con la calidad del agua en México se muestra en la tabla II.1, en la cual se deben añadir los tratados y convenciones internacionales que, básicamente, se limitan a la contaminación del mar con hidrocarburos y los acuerdos derivados del Tratado de Libre Comercio. Estos últimos, se resumen en que cada país debe cumplir con su propia normatividad.

Tabla II.1 **Normatividad mexicana para la prevención y control de la contaminación del agua**

DEPENDENCIA ENCARGADA DE LA PUBLICACIÓN	INSTRUMENTO REGULATORIO	FECHA DE EXPEDICIÓN	FECHA DE CONSULTA
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos	Ley de contribución de Mejoras por obras	Enero de 1991	
	Ley de aguas nacionales	Diciembre de 1992	
	Ley federal de derechos En materia de agua <sup>2</sup>	Febrero de 1998	
	Ley general del equilibrio Ecológico y la protección Al ambiente	Enero de 1988	
Secretaría de Desarrollo Social	Normas Oficiales Mexicanas referentes a la descarga de aguas Residuales NOM 001 ECOL/96	Enero 6 de 1997	Internet 18/Nov/02
	NOM 002 ECOL/96	Junio 3 de 1988	Internet 18/nov/02
	NOM 003 ECOL/97	Sept. 21 de 1998	Internet 18/nov/02
	Ley federal de protección Al ambiente	Enero de 1982	
Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca	Ley de reformas a la administración	Enero de 1995	

<sup>2</sup> Actualizado cada año.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Control de descargas**

En 1973, la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), por primera vez, un programa de prevención y control de la contaminación de los cuerpos receptores generada por las descargas de agua residual municipal e industrial. Este programa comprendió tres etapas:

1. Registro obligatorio ante las autoridades por parte de los responsables de las descargas de aguas residuales municipales e industriales.
2. Presentación, ante la SRH, de un informe preliminar de ingeniería cuando la calidad del agua residual no cumpliera con los valores de la tabla 11.2. El informe debía contener los planes y acciones necesarios para el tratamiento de las descargas.
3. Elaboración, por parte de la SRH, de los estudios de clasificación de los cuerpos de agua del país y el establecimiento de los criterios de calidad de los mismos con base en los cuales las autoridades deberían fijar las condiciones particulares de descarga (CPD).

Tabla II.2 **De máximos tolerables**

PARAMETRO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA
Sólidos sedimentables	1.0 ml/l
Grasas y aceites	70 mg/l
Materia flotante	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3mm de claro libre, cuadrado
Temperatura	350 °C
Potencial hidrógeno pH	4.5 - 10.0

*Fuente: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, 1973*

En 1976, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) sustituyó a la SRH y quedó encargada de ejecutar el programa anterior y de fijar las CPD. Ante la incapacidad para atender un gran número de solicitudes, el programa quedó abandonado.

En 1982, la Secretaría de Salud expidió la Ley Federal de Protección al Ambiente y, en 1988, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) estableció 25 normas técnicas ecológicas, dos en 1990 y cinco en 1991, sumando 33 normas, mismas que se listan en la tabla II.3.

Para 1989, la Comisión Nacional del Agua (CNA) publicó los criterios de calidad del agua y quedó, a través de la SARH, como la responsable de emitir las normas para la prevención y control de la contaminación del agua. Se emitió, entonces, la Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica (1991), la ley de Aguas Nacionales (diciembre, 1992) y la Ley Federal de Derechos de Materia del Agua (febrero, 1993). En julio de 1992, la atribución de fijar las CPD quedó bajo la responsabilidad de la Comisión Nacional del Agua de acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, fracción III del artículo 86 y en los artículos 139 fracción II y 140 del reglamento de la misma.

Tabla II.3 **Normas técnicas ecológicas**

NORMA TÉCNICA ECOLÓGICA	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES
001/88	Centrales termoeléctricas convencionales
002/88	Industria productora de azúcar de caña
003/88	Industria de refinación de petróleo crudo, sus derivados y petroquímica básica
004/88	Industria de la fabricación de fertilizantes, excepto la que produzca ácido sulfúrico como producto intermedio
005/88	Industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos
006/88	Industria de fabricación de harinas
007/88	Industria de la cerveza y de la malta
008/88	Industria de la fabricación de asbestos de construcción
009/88	Industria elaboradora de leche y sus derivados
010/88	Industria de la manufactura de vidrio plano

NORMA TÉCNICA ECOLÓGICA	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES
011/88	Industria de productos de vidrio prensado y soplado
012/88	Industrias de fabricación de caucho sintético, llantas y cámaras
013/88	Industria del hierro y del acero
014/88	Industria textil
015/88	Industria de la celulosa y del papel
016/88	Industria de bebidas gaseosas
017/88	Industria de acabados metálicos
018/88	Industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones
019/88	Industria de la impregnación de productos de aserradero
020/88	Industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores
021/88	Industria del curtido y acabado de pieles
022/88	Industria de matanza de animales y empaclado de cárnicos
023/88	Industria de envasado de conservas alimenticias
024/88	Industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen
025/88	Industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada
026/91	Restaurantes o de hoteles
027/90	Industria del beneficio del café
028/90	Industria de la preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de la producción de harina y aceite de pescado
029/91	Hospitales
030/91	Industria de jabones y detergentes
031/91	La industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales para los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal
032/91	De origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola
033/91	Establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de ésta con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas

### NOM-001-ECOL-1996

La Norma Oficial Mexicana **NOM-001-ECOL-1996** es una norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

### Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las **descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales**, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las **descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales**.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## NOM-002-ECOL-1996

La Norma Oficial Mexicana **NOM-002-ECOL-1996** es una norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de Alcantarillado Urbano o Municipal.

La **NOM-002-ECOL-1996** fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el pasado 3 de Junio de 1998 y promovida directamente por la señora Julia Carabias Lillo en su carácter de secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).

### Objetivo y campo de aplicación

La NOM-002-ECOL-1996 tiene como objetivo prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de los sistemas de Alcantarillado Sanitario.

Además, con la aplicación de esta norma se busca preservar el equilibrio ecológico y la conservación del medio ambiente que con el paso del tiempo se ha deteriorado demasiado.

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (miligramos por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a que se refiere la NOM-002-ECOL-1996 se obtendrán de análisis de muestras compuestas que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo, de acuerdo con la tabla II.4.

Tabla II.4

## FRECUCENCIA DE MUESTREO

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
de 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal deben cumplir los límites máximos permisibles establecidas en esta norma, tal como se explica en la tabla II.5.

Así, el cumplimiento es gradual y progresivo de acuerdo al intervalo de población, tomando como referencia el XI Censo General de Población y Vivienda, realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en 1990.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla II.5

**FECHA DE CUMPLIMIENTO A INTERVALO DE POBLACIÓN  
PARTIR DE:**

1 DE ENERO DE 1999	MAYOR DE 50,000 HABITANTES
1 DE ENERO DE 2004	DE 20,001 A 50,00 HABITANTES
1 DE ENERO DE 2009	DE 2,501 A 20,000 HABITANTES

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997**

**Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reúso o entrega, incluyendo conducción o transporte de la misma.

**ESPECIFICACIONES**

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la tabla II.6 de esta Norma Oficial Mexicana.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla II.6 Límites máximos permisibles de contaminantes

TIPOS DE REÚSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto h/l	Grasas y aceites m/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST/mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la tabla II.5 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reúsen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### II.3 ANÁLISIS DE LOS USOS DEL AGUA DENTRO DE LA ESCUELA

El buen aprovechamiento del uso del agua en una escuela depende fundamentalmente de la situación actual de las instalaciones hidráulicas, así como las formas que se utilizan para el control del vital líquido.

Es importante señalar que la falta de mantenimiento preventivo y en algunas ocasiones correctivo de las instalaciones como la falta de métodos de control redundan en un desperdicio del agua.

#### a) ANÁLISIS DE LA CONSTITUCIÓN DE LA RED

La red de distribución hidráulica en el interior de un edificio, asegura la conducción del agua hasta los puntos de utilización.

En las instalaciones hidráulicas se conocen cuatro sistemas diferentes, mismos que se enumeran a continuación:

- **Sistema de abastecimiento directo.**- Se dice contar con un sistema de abastecimiento directo, cuando la alimentación de agua a los muebles sanitarios de los edificios se hace en forma directa de la red municipal sin estar de por medio tinacos de almacenamiento, tanques elevados, etc.  
Para estar seguros de que el agua va a llegar a los muebles más elevados con la presión necesaria para que trabajen eficientemente (mínimo  $0.200 \text{ kg/cm}^2$ ), basta medir la presión manométrica en el punto más alto de la instalación (brazo de la regadera del último nivel) o abrir la válvula del agua fría de éste mueble y que la columna de agua alcance a partir del brazo o en una tubería paralela libremente a una altura de 2.00 m.
- **Sistema de abastecimiento por gravedad.**- En este sistema la distribución del agua se realiza generalmente a partir de tinacos o tanques elevados, localizados en las azoteas en forma particular por edificación o por medio de tinacos o tanques "regularizadores" construidos en terrenos elevados en forma general por población. A partir de tinacos de almacenamiento o de tanques elevados, cuando la presión del agua en la red municipal es la suficiente para llegar hasta ellos y la continuidad del abastecimiento es efectiva durante un mínimo de 10 horas por día. A partir de tinacos o tanques regularizadores, cuando de la captación no se tiene el suficiente volumen de agua ni continuidad en el mismo para poder abastecer directamente a la red de distribución y de éstas a todas y cada una de las edificaciones, pero si se tiene por diferencia de altura de los tinacos o tanques regularizadores con respecto a las edificaciones, la suficiente presión para que el agua llegue a una altura superior a la de las instalaciones por abastecer.

A dichos tinacos o tanques regularizadores se le permite llegar al agua por distribuir durante las 24 horas, para que en las horas en que no se tenga demanda del fluido, ésta se acumule para suministrarse en las horas pico. A dichos tinacos o tanques regularizadores se les conecta a la red general, con el fin de que la distribución del agua a partir de éstos se realice 100% por gravedad.

- **Sistema de abastecimiento combinado.-** Se adopta un sistema combinado (por presión y por gravedad), cuando la presión que se tiene en la red general para el abastecimiento de agua no es la suficiente para que llegue a los tinacos o tanques elevados, como consecuencia principalmente de las alturas de algunos inmuebles, por lo tanto, hay necesidad de construir en forma particular cisternas o instalar tanques de almacenamiento en la parte baja de las construcciones.

A partir de las cisternas o tanques de almacenamiento ubicados en la parte baja de las construcciones, por medio de un sistema auxiliar ( una o más bombas), se eleva el agua hasta los tinacos o tanques elevados, para que a partir de éstos se realice la distribución del agua por **gravedad** a los diferentes niveles y muebles en forma particular o general según el tipo de instalación y servicio lo requiera.

Cuando la distribución del agua ya es por **gravedad** y para el correcto funcionamiento de los muebles de baño, es necesario que el fondo del tinaco o tanque elevado **esté** como mínimo a 2.00 m sobre la salida más alta (brazo de la regadera del máximo nivel); ya que esta diferencia de altura proporciona una presión =  $0.200 \text{ kg/cm}^2$ , que es la mínima requerida para un eficiente funcionamiento de los muebles de uso doméstico.

- **Sistema de abastecimiento por presión.-** Es más complejo y dependiendo de las características de las edificaciones, tipo de servicio, volumen de agua requerido, presiones, simultaneidad de servicios, número de niveles, número de muebles, características de estos últimos, etc., puede ser resuelto mediante:

- 1.- UN EQUIPO HIDRONEUMÁTICO
- 2.- UN EQUIPO DE BOMBEO PROGRAMADO

Cabe hacer notar que cuando las condiciones de los servicios, características de estos, número y tipo de muebles instalados o por instalar y altura de las construcciones así lo requieran, se prefiere el sistema de abastecimiento por gravedad sobre los restantes por las siguientes ventajas.

- 1.- CONTINUIDAD DEL SERVICIO
- 2.- SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO
- 3.- BAJO COSTO
- 4.- MÍNIMO MANTENIMIENTO

Una desventaja que tiene el abastecimiento por gravedad y muy notable por cierto es que en los últimos niveles, con respecto a la planta baja, la presión del agua es

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

muy reducida, y muy elevada en los niveles más bajos, principalmente en edificaciones de considerable altura.

Puede incrementarse la presión de los últimos niveles, si se aumenta la altura de los tinacos o tanques elevados, con respecto al nivel terminado de azotea, sin embargo, dicha solución implica la necesidad de construir estructuras que en ocasiones no son recomendables por ningún concepto

Los componentes y partes de una instalación hidráulica son los siguientes:

- ◆ Toma domiciliaria o de alimentación
- ◆ Tanque inferior (cisterna)
- ◆ Instalación de bombeo
- ◆ Depósito de distribución superior (tinaco)
- ◆ Tubería de salida
- ◆ Tuberías principales
- ◆ Ramales de distribución
- ◆ Subramales o conexiones de los aparatos
- ◆ Aparatos sanitarios
- ◆ Estimación de los caudales

En las instalaciones hidráulicas se pueden considerar los siguientes consumos o caudales:

- **Consumo diario:** es el volumen máximo previsto para la utilización en el edificio, en 24 horas.
- **Caudal máximo posible:** es el caudal instantáneo originado por el uso simultáneo de todos los aparatos.
- **Caudal máximo probable:** es el caudal instantáneo que puede ser esperado con el uso normal de los aparatos (regularmente no todos los aparatos son utilizados al mismo tiempo).

## VARIACIONES DE CONSUMO

Un sistema es eficiente cuando en su capacidad está prevista la máxima demanda de una localidad. Para diseñar las diferentes partes de un sistema se necesita conocer las variaciones mensuales, diarias y horarias del consumo.

Interesan las demandas medias, las máximas diarias y las máximas horarias. Estas demandas que representan volumen de agua en unidad de tiempo se llaman "gastos".

Así tenemos:

**gasto medio anual (Qm.a.)**  
**gasto máximo diario (Qm.d.)**  
**gasto máximo horario (Qm.h.)**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## GASTO MEDIO ANUAL

Es el gasto que en término medio se consume en un día cualquiera del año; se obtiene de la siguiente manera:

$$Qm.a. = \frac{P \times D}{86,400} \quad (l.p.s.)$$

P = Población  
D = Dotación en l/h/d.

## GASTO MÁXIMO DIARIO

El consumo medio anual sufre variaciones en más y en menos, pues hay días que por la actividad, la temperatura u otra causa, se demanda un consumo mayor que el medio anual; este consumo en más se estima que fluctúa entre 120 y 180%, pero en poblados pequeños llega a 200%.

En general en la República Mexicana el máximo consumo se registra entre mayo y julio. Al máximo consumo diario se le llama "**gasto máximo diario**" y el coeficiente con que se afecta al "**gasto medio anual**", para obtener este "**gasto máximo diario**" se le llama "**coeficiente de variación diaria**".

## GASTO MÁXIMO HORARIO

A su vez el "**gasto máximo diario**" sufre variaciones en las distintas horas del día, por lo que en el día de mayor consumo lo que interesa es saber en que hora de las 24 se requiere mayor gasto.

Se ha observado que en las horas de mayor actividad se alcanza hasta un 150 % del "**gasto máximo diario**". A esta variación del consumo se le llama "**gasto máximo horario**" y al coeficiente con que se afecta al "**gasto máximo diario**" se le llama "**coeficiente de variación horaria**". Se representa por Qm.h. y se expresa en l.p.s.

## Constitución de una red hidráulica

- ✓ **Toma domiciliaria.** Donde el agua es conducida de la cañería pública al inmueble por un ramal cuyo diámetro debe ser establecido en función de la presión disponible en el lugar y de la cantidad de agua que debe abastecer el diámetro mínimo es de 13 mm (1/2"), cuyo material es acero galvanizado, asimismo, en este punto es instalado el medidor.
- ✓ **Depósitos o tanques de almacenamiento.** La capacidad total de los depósitos debe ser igual o superar el consumo máximo diario estimado para el edificio, siempre que la presión disponible en la red pública no sea suficiente para que en la hora de mayor consumo, el agua alcance, en condiciones satisfactorias las

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

piezas sanitarias situadas en lo más alto del edificio se vuelve obligatorio un tanque inferior, en donde el agua es bombeada al depósito superior. Para los sistemas con equipos hidroneumáticos se excluyen los depósitos superiores.

- ✓ **Tuberías principales.** De esta tubería principal salen las derivaciones para proveer los aparatos correspondiendo una derivación para cada grupo de aparatos.  
Las tuberías principales que alimentan las válvulas de descarga no deben ser utilizados para abastecimientos de aparatos, esto es debido a las presiones que ahí se tienen.
- ✓ **Ramales de distribución.** Los ramales de distribución parten de las tuberías principales y alimentan las conexiones de los aparatos. Los ramales que abastecen varios aparatos que no son utilizados simultáneamente son dimensionados para el caudal máximo posible.
- ✓ **Subramales o conexiones de los aparatos.** Los subramales o conexiones son los tramos de tubería que abastecen directamente a los aparatos sanitarios.

### II.3.1 SITUACIÓN DE LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS

Las instalaciones hidráulicas de las escuelas secundarias, en la actualidad, están compuestas de una alimentación (acometida).

Una red de distribución hacia los tinacos en la azotea y otra red de distribución desde los tinacos hasta los diferentes usos de la propia escuela (laboratorios, sanitarios, lavabos, bebederos, talleres, etc.).

Es recomendable que a la entrada (influyente), de la planta tipo paquete se cuente con un dispositivo que permita derivar (by-pass), los volúmenes de agua en exceso del gasto máximo.

Uno de los aspectos que mayor importancia revisten en el diseño de un sistema hidráulico es el relativo a los volúmenes de agua que se habrán de presentar. La determinación de dichos volúmenes se logra a través del manejo de diferentes conceptos que se tratarán a continuación.

**Consumo.** Es la cantidad de agua, expresada en l/hab/día (litros por habitante al día), que efectivamente es empleada por un habitante cada día.

Consumo Doméstico	de 75 a 100 l/h/d
Consumo Público (20 a 30%)	de 20 a 25 l/h/d
Consumo Industrial (40 a 100%)	De 30 a 75 l/h/d
Consumo Comercial (15 a 50%)	De 10 a 40 l/h/d *

\*Porcentajes con relación al consumo doméstico.

**Dotación.** Es la cantidad de agua, expresada en l/hab/día que se asigna a cada habitante y que comprende todos los consumos de los servicios que se hacen en un día medio anual.

Es importante en este punto enfatizar en el hecho de que la dotación no es la cantidad de agua que efectivamente utiliza un habitante al día.

En instalaciones hidráulicas, dotación significa la cantidad de agua que consume en promedio una persona durante un día.

El valor de la dotación (cantidad en litros) incluye la cantidad necesaria para su aseo personal, alimentos y demás necesidades.

Por lo anterior, para proyectar una instalación hidráulica, es imprescindible determinar la cantidad de agua que ha de consumirse, de acuerdo al tipo de construcción, servicio que

debe prestar y considerando el número de muebles que puedan o deban trabajar simultáneamente.

### Dotaciones mínimas para el D.F.

Como consecuencia de la reducción en el número de litros de agua por descarga en algunos muebles sanitarios (retretes, mingitorios y en casos especiales lavabos) y el uso más racional de fregaderos, regaderas, llaves de manguera y demás, se ha logrado reducir el valor de las dotaciones en algunos servicios específicos.

Inmueble	Consumo
Casas habitación	150 l/persona/día
Reclusorios	150 l/persona/día
Hoteles	150 l/persona/día
Baños públicos	300 l/persona/día
Educación elemental Primaria	20 l/alumno/turno
Educación media Secundaria y Superior	25 l/alumno/turno
Mercados	100 l/puesto/día
Áreas verdes	5 l/m <sup>2</sup> /día
Estacionamientos	2 l/m <sup>2</sup> /día

Actualmente se estima una dotación por alumno del orden de (25 l/alumno/turno) o sea 0.025 m<sup>3</sup>/día, además, se estima un consumo por adulto dentro de la escuela, del orden de 0.1 m<sup>3</sup>/día. Si consideramos una población de 720 alumnos por turno, por dos turnos serían 1440 alumnos, y 6 adultos trabajadores por turno.

$$(720 \text{ alumnos})(2\text{-turnos}) = 1440 \text{ alumnos} + 12 \text{ adultos} = 1452 \text{ personas}$$

$$(1452 \text{ personas})(0.025 \text{ m}^3/\text{día}) = 36.3 \text{ m}^3/\text{día}$$

y tomando en cuenta que ellos laboran dentro de la escuela, se estima un consumo diario total de 36.3 m<sup>3</sup>/día.

### PRESIÓN MÍNIMA DEL AGUA

Para establecer el valor mínimo de la presión del agua en las instalaciones hidráulicas, hay necesidad de hacer mención de los dos casos específicos conocidos.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

1. Para instalaciones hidráulicas en las cuales la distribución del agua es por gravedad y no se cuenta con muebles de fluxómetro se establece:

La diferencia de alturas de la regadera en la última planta (toma de agua más alta) al fondo de tinacos o tanques elevados, se establece por reglamento debe ser como mínimo de 2.00 m.

La diferencia de alturas de 2.00 m, equivale a una columna de agua de 2.00 m y está a una presión de  $0.200 \text{ kg/cm}^2$ , valor mínimo requerido para que las regaderas proporcionen un eficiente servicio.

2. En instalaciones hidráulicas en las cuales la distribución del agua es a presión y se dispone de muebles de fluxómetro, la presión en la entrada de los fluxómetros debe ser como mínimo de  $1.3 \text{ kg/cm}^2$ , valor equivalente a una columna de agua de 13.00 metros.

### **GOLPE DE ARIETE**

El golpe de ariete, al que técnicamente se le conoce como presión dinámica, se origina por el cambio de la energía cinética o energía de movimiento de los fluidos dentro de las tuberías, en energía de presión.

Aplicando tal definición, pero estrictamente al tema que nos ocupa, puede decirse:

El golpe de ariete es el que reciben las tuberías, conexiones y válvulas en general en su parte interior, cuando se cierra cualquiera de estas últimas, al frenar en forma brusca el paso del agua, convirtiendo la energía dinámica adquirida por el movimiento, en energía de presión.

A manera de ejemplo, cuando en una tubería por la que está pasando agua se establece una obstrucción, ya sea por un elemento extraño o por el cierre parcial o total de una válvula en un intervalo de tiempo normalmente corto, las partículas del agua en movimiento chocan contra el obstáculo que se interpone, provocando una onda de presión, proporcional a la velocidad, presión y volumen del agua, la cual trata de deformar las tuberías y perjudica la parte interior de las válvulas.

### **INSTALACIONES SANITARIAS**

Las instalaciones sanitarias tienen por objeto retirar de las construcciones en forma segura, aunque no necesariamente económica, las aguas negras y pluviales, además de establecer obturaciones o trampas hidráulicas, para evitar que los gases y los malos olores producidos por la descomposición de las materias orgánicas acarreadas salgan por donde se usan los muebles sanitarios o por las coladeras en general.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las instalaciones sanitarias deben proyectarse y principalmente construirse, procurando sacar el máximo provecho de las cualidades de los materiales empleados, e instalarse en forma lo más práctica posible, de modo que se eviten reparaciones constantes e injustificadas, previniendo un mínimo de mantenimiento, el cual consistirá, en condiciones normales de funcionamiento, en dar limpieza periódica requerida a través de los registros.

Lo anterior quiere decir que independientemente de que se proyecten y construyan las instalaciones sanitarias en forma práctica y en ocasiones hasta cierto punto económica, no debe olvidarse de cumplir con las necesidades higiénicas y que además la eficiencia y funcionalidad sean las requeridas en las construcciones actuales, planeadas y ejecutadas con estricto apego a lo establecido en los Códigos y Reglamentos Sanitarios, que son los que determinan los requisitos mínimos que deben cumplirse para garantizar el correcto funcionamiento de las instalaciones particulares, que redunda en el óptimo servicio de las redes en general.

A pesar de que en forma universal a las aguas evacuadas se les conoce como **aguas negras**, suele denominárseles como **aguas residuales**, por la gran cantidad y variedad de residuos que arrastran, o también se les puede llamar y, con toda propiedad, como **aguas servidas**, porque se desechan después de aprovecharse en un determinado servicio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## AGUAS RESIDUALES O SERVIDAS

A las aguas residuales o aguas servidas, suelen dividirse por necesidad de coloración como:

- Agua negra
- Agua gris
- Agua jabonosa

**Agua negra:** a las provenientes de mingitorios y retretes.

**Agua gris:** a las evacuadas en vertederos y fregadero.

**Agua jabonosa:** a las utilizadas en lavabos, regaderas, lavadoras, etc.

### NÚMERO DE MUEBLES SANITARIOS SEGÚN SERVICIO

Servicio	Retretes	Lavabos	Mingitorios	Regaderas
Educación elemental media y superior hasta 75 alumnos/turno	2	2	1	
de 75 a 150 alumnos/turno	3	2	2	
por cada 75 adicionales	2	2	1	
Oficinas públicas y privadas hasta 100 usuarios	2	2	1	
de 100 a 200 usuarios	3	2	2	
por cada 100 adicionales	2	1	1	
Baños públicos hasta 4 usuarios	1	1	1	1
De 5 a 10 usuarios	2	2	1	2
de 10 a 20 usuarios	3	3	2	4
de 21 a 50 usuarios	4	4	2	8
Por cada 50 adicionales	4	4	2	8
Unidades de salud salas de espera por cada 100 personas	2	2	1	
De 101 a 200 personas	3	2	2	
Empleados hasta 25 empleados	2	2	1	
De 26 a 50 empleados	3	2	1	
De 51 a 75 empleados	4	4	2	2
De 76 a 100 empleados	5	3	2	4
por cada 100 adicionales	3	2	1	2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **LOCALIZACIÓN DE DUCTOS**

La ubicación de ductos es muy importante, obedece tanto al tipo de construcción como de espacios disponibles para tal fin.

1. En casas habitación y en edificios de departamentos, se deben localizar lejos de recámaras, salas, comedores, etc., en fin, lejos de lugares en donde el ruido de las descargas continuas de los muebles sanitarios conectados en niveles superiores no provoquen malestar.
2. En lugares públicos y de espectáculos, en donde las concentraciones de personas son de consideración, debe tenerse presente lo anterior, amén de que otras condiciones podrían salir a colación en cada caso particular.

## **SUPERVISIÓN EN LOS PROYECTOS**

Es patente que deben tomarse en cuenta al hacer la distribución de locales, los espacios ocupados por los ductos y las tuberías, pues es de hacer notar que:

- Existen construcciones que deben proyectarse y construirse de acuerdo a las instalaciones.
- Existen también instalaciones que deben hacerse de acuerdo al tipo de construcción.
- Las dimensiones de los ductos deben estar de acuerdo tanto al número, como al diámetro y material de las tuberías instaladas.
- No es lo mismo trabajar tuberías soldables que roscadas, ni representa la misma dificultad dar mantenimiento a hacer cambios en instalaciones construidas con tuberías de diámetros reducidos, que en instalaciones realizadas con tuberías de grandes diámetros.

## **OBTURADORES HIDRÁULICOS**

Los obturadores hidráulicos, no son más que trampas hidráulicas que se instalan en los desagües de los muebles sanitarios y coladeras, para evitar que los gases de los malos olores producidos por la descomposición de las materias orgánicas salgan al exterior, precisamente por donde se usan los diferentes muebles sanitarios.

Las partes interiores de los sifones, céspedes y obturadores en general no deben tener en su interior ni aristas ni rugosidades que puedan retener los diversos cuerpos extraños y residuos evacuados con las aguas ya usadas.

## **CLASIFICACIÓN**

Atendiendo primordialmente a su forma, los obturadores se clasifican como:

**Forma P**

**Forma S**

Para lavabos, fregaderos, mingitorios, o debajo de rejillas tipo irving en baterías de regaderas para servicios al público, etc.

En forma de cono, en la parte interior de coladeras, de diferentes formas y materiales.

## **VENTILACIÓN DE INSTALACIONES SANITARIAS**

Como las descargas de los muebles sanitarios son rápidas, dan origen al golpe de ariete, provocando presiones o depresiones tan grandes dentro de las tuberías, que pueden en un momento dado anular el efecto de las "trampas" obturadores o sellos hidráulicos, perdiéndose el cierre hermético y dando oportunidad a que los gases y malos olores producidos al descomponerse las materias orgánicas acarreadas en las aguas residuales o negras, penetren a las habitaciones y/o aulas.

Para evitar sea anulado el efecto de los obturadores, sellos o trampas hidráulicas por las presiones o depresiones antes citadas, se conectan tuberías de ventilación que desempeñan las siguientes funciones:

1. Equilibran las presiones en ambos lados de los obturadores o trampas hidráulicas, evitando la anulación de su efecto.
2. Evitan el peligro de depresiones o sobrepresiones que pueden aspirar el agua de los obturadores hacia las bajadas de aguas negras, o expulsarla dentro del local.
3. Al evitar la anulación del efecto de los obturadores o trampas hidráulicas, impiden la entrada de los gases a las habitaciones y aulas.
4. Impiden en cierto modo la corrosión de los elementos que integran las instalaciones sanitarias, al introducir en forma permanente aire fresco que ayuda a diluir los gases.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## TIPOS DE VENTILACIÓN

### Ventilación primaria

### Ventilación secundaria

#### Ventilación Primaria

A la ventilación de los bajantes de aguas negras se les conoce como "ventilación primaria" o bien suele llamársele simplemente "ventilación vertical", el tubo de esta ventilación debe sobresalir de la azotea hasta una altura conveniente.

La ventilación primaria ofrece la ventaja de acelerar el movimiento de las aguas residuales o negras y evitar hasta cierto punto la obstrucción de las tuberías, además, la ventilación de los bajantes en instalaciones sanitarias particulares es una gran ventaja higiénica, ya que ayuda a la ventilación del alcantarillado público, siempre y cuando no existan trampas de acometida.

#### Ventilación Secundaria

La ventilación que se hace en los ramales es la "ventilación secundaria" también conocida como "ventilación individual".

Se hace con el objeto de que el agua de los obturadores en el lado de la descarga de los muebles, quede conectada a la atmósfera y así nivelar la presión del agua de los obturadores en ambos lados, evitando sea anulado el efecto de las mismas e impidiendo la entrada de los gases a las habitaciones y/o salones.

La ventilación secundaria consta de:

1. Los ramales de ventilación que parten de la cercanía de los obturadores o trampas hidráulicas.
2. Las bajadas de ventilación a las que pueden estar conectados uno o varios muebles.

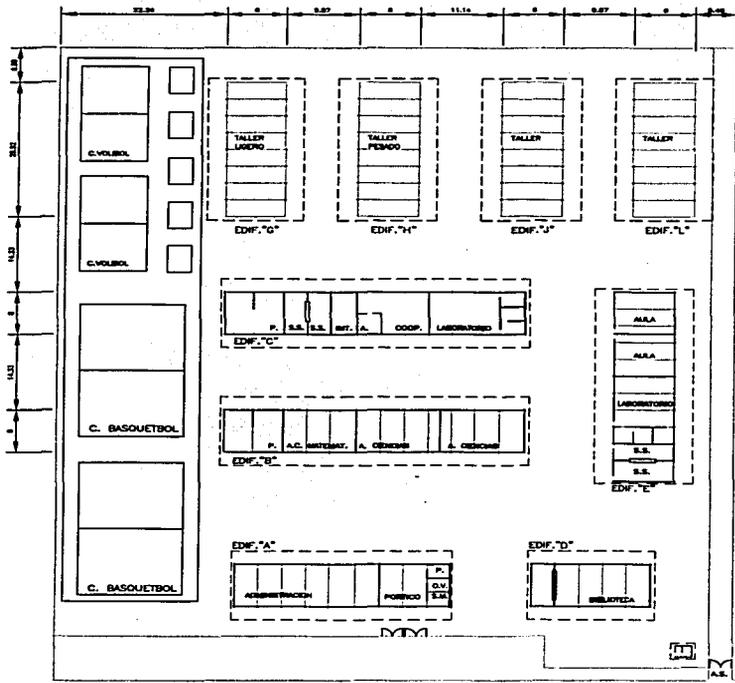
Diámetro del desagüe del accesorio		Distancia máxima de la conexión de la ventilación, al céspeol o trampa
cm	pulgadas	metros
3.2	1 ¼	0.75
3.8	1 ½	0.85
5.0	2	1.50
7.5	3	1.85
10.0	4	3.00

Se pueden ventilar en grupo, en serie o en batería accesorios o muebles sanitarios en un mismo nivel, como es común encontrar conectados el fregadero con los muebles del baño en construcciones de un piso o en pisos superiores de varios niveles, a condición de que las descargas por nivel queden conectadas en forma individual con las bajadas de aguas negras.

Es necesario hacer hincapié en la necesidad de que los sifones o trampas hidráulicas en los muebles sanitarios estén diseñados en tal forma, que se pueda renovar todo su contenido en cada operación de descarga, evitando que quede en ellos agua que pueda descomponerse, dando origen a malos olores, además deben tener un registro que permita un mayor grado de limpieza.

Los fregaderos de cocina en casas habitación y en edificios de departamentos descargan por medio de un sifón de obturación hidráulica, provisto en su parte baja de un registro para poder realizar la limpieza.

Los fregaderos de cocinas de establecimientos que dan servicio colectivo, además del sifón con obturación hidráulica, la descarga se conecta a una caja de recolección de grasas, conocida como trampa de grasas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

F. E. S. CUAUTITLÁN

ESCUELA SECUNDARIA TÉCNICA A

PLANTA ARQUITECTÓNICA

QUÉ

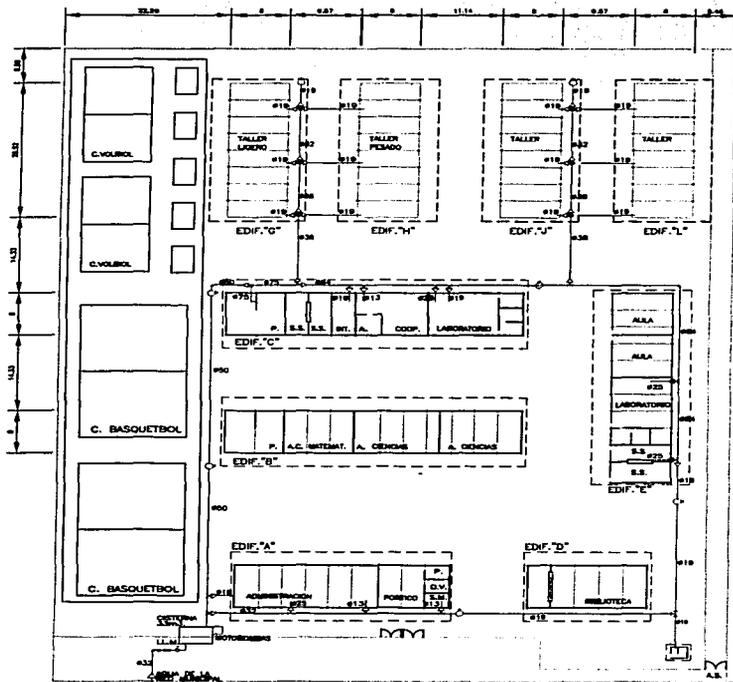
A-1

1974 MAR 1 1977

11:00 AM 20/74

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

67A



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

F. E. S. CUAUTTLÁN

CARRERA DE INGENIERÍA EN PLUMBAS

INSTALACIÓN HIDRAULICA

0054

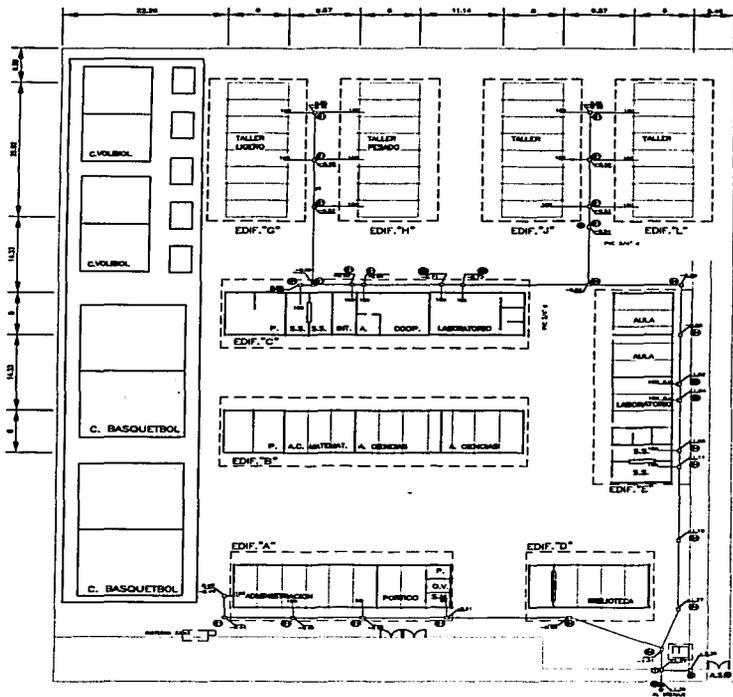
11-1

TITULAR: ...

FECHA: ...

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

673



NOTAS:  
 1. VER PLANOS DE OBRAS  
 2. VER PLANOS DE OBRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

F. E. S. CUAUTITLÁN

ESCUELA DE INGENIERÍA SANITARIA

INSTALACION SANITARIA

17 DE ABRIL DE 1966

BLANQUEO

IS-1

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

67C

## II.4 Selección de las plantas de tratamiento más adecuadas

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

### II.4.1 Trenes de tratamiento de los procesos seleccionados

Aquí se presentan los trenes y tablas de evaluación de tratamiento de los procesos que se han considerado más adecuados para el tratamiento de las aguas residuales de una escuela secundaria: lodos activados, discos biológicos rotatorios, filtro percolador y reactor anaerobio de lecho de lodos. De estos 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)<sup>1</sup>, que corresponden con las descargas de una escuela secundaria, eliminando la parte de laboratorios.

Se cuantifican sus eficiencias y requerimientos, eligiendo el más recomendable para ser instalado.

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 II.4.1 se presentan las distintas modalidades de cada uno de estos procesos.

---

<sup>1</sup> EPA 1977.- Agencia de Protección Ambiental. (*Environmental Protection Agency*)

Tabla II.4.1 Distintas modalidades de los sistemas de tratamiento preseleccionados

PROCESO	MODALIDAD DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN
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
	Aireación en etapas	La alimentación y la recirculación de lodos se suministran en distintos puntos del tanque de aireación. El oxígeno requerido se suministra uniformemente.
	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.
	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, una de las variantes de la aireación extendida es la oxidación en carrusel).
	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.
	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.
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.
Filtro percolador	Baja tasa	Los filtros percoladores se clasifican con base en la carga hidráulica en: -baja tasa 1 a 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d -media tasa 4 a 10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d -alta tasa 10 a 40 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .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.
	Media y alta	Los filtros percoladores que operan bajo esta modalidad requieren de recirculación del efluente, por tal razón requiere un cárcamo de recirculación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

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 parámetros de calidad de la descarga de aguas residuales, con concentraciones de 200 mg/l de DBO y 200 mg/l de SST.

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

*Rejillas:* que separan de las aguas residuales aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar las bombas, o interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento.

*Cárcamo desarenador:* el cual tiene como objetivo 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.

*Cárcamo de homogeneización y bombeo:* donde se homogeneiza la calidad del influente y regula las variaciones de flujo, de manera que las condiciones bajo las cuales operen los reactores varien 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.

*Unidad de desinfección:* la cual tiene como objetivo disminuir el número de microorganismos, a fin de satisfacer los parámetros microbiológicos de calidad del efluente.

#### **II.4.2 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 éstos.

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 m<sup>3</sup>/d (EPA 1977). En la tabla II.4.2 se presentan los factores a considerar en la evaluación del proceso de aireación extendida.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla II.4.2 Factores a considerar para evaluar el proceso de lodos activados en su modalidad de aireación extendida**

<b>FACTOR</b>	<b>COMENTARIOS</b>
1. Aplicabilidad de los procesos	Lodos activados es 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 <sup>3</sup> /d. (EPA 1977) y se han instalado sistemas para poblaciones de hasta 20.000 habitantes (3200 m <sup>3</sup> /d).
3. Variación aplicable al flujo	Es capaz de soportar variaciones de flujo de hasta 150% y son tolerados por el sistema. Además de que se ha observado un buen funcionamiento para concentraciones de entre 60 y 300 mg/l de DBO en el influente. Es recomendable contar con un cárcamo regulador u homogeneizador.
4. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a agua residual doméstica típica, que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
5. Compuestos inhibidores que afectan al proceso	Existe baja probabilidad de la existencia de metales pesados en agua residual doméstica. Su existencia puede retardar o inhibir completamente el metabolismo bacterial, además se tendrían 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. Área 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.
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 de los 140 m <sup>3</sup> de volumen, conviene separar en dos o más tanques. La profundidad de los tanques varía entre 3 y 5 metros. La relación ancho-profundidad puede variar entre 1:1; 2:2:1, esto limita el ancho 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 reúso 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. Tipos 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.

FACTOR	COMENTARIOS
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 son de 25 a 35°C. La digestión aerobia y la nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza los 50 °C, mientras que a los 2°C, las bacterias heterótrofas que actúan sobre el material carbonaceo cesan su metabolismo.
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 arradores) trabajan en forma continua, 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 debida principalmente a que existen variables como el caudal que ingresa, relación F/M, recirculación de lodos, cantidad de lodos a ser evacuados y los que deben ser controlados. 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.

#### II.4.3 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 tabla II.4.3 se presentan los factores a considerar en la evaluación del proceso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla II.4.3 **Factores a considerar para evaluar el proceso de discos biológicos rotatorios**

<b>FACTOR</b>	<b>COMENTARIOS</b>
1. Aplicación 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 plantas piloto, escalamiento y condiciones de operación. <u>En México actualmente se implanta el sistema con éxito.</u>
2. Intervalo aplicable al flujo	Es capaz de tratar caudales medios, aunque se han desarrollado plantas paquete para flujos entre 4 y 50 m <sup>3</sup> /d.
3. Variación aplicable al flujo	Cuando existen cargas orgánicas bajas (7 kg DQO/d.1000 m <sup>2</sup> ), 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 <sup>2</sup> /d), es preferible contar con un cárcamo de homogeneización.
4. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica, que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
5. Compuestos inhibidores y que afectan el 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 <u>para un proceso secundario.</u>
6. Área 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.
7. Cinética de reacción y selección del reactor	El proceso DBR contempla cinéticas de reacción de primer orden la remoción DBO carbonácea y oxidación de nitrógeno amoniacal: esto significa que con 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. 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. La experiencia ha demostrado 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.
8. Funcionamiento	Eficiencia Global del Sistema: 93% Cumple con los límites máximos permisibles para descarga en drenaje, riego agrícola y para reúso 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

FACTOR	COMENTARIOS
	adecuadas, en el DBR se lleva acabo la nitrificación, particularmente en la última etapa.
9. Tipo de subproductos	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.
10. Restricciones en el manejo de lodos	Este 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 representa 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 los 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	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). 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.
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 orden, 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 estos valores límite, no existen datos que permitan efectuar el diseño empírico; por tanto, se debe seguir algún método riguroso.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

FACTOR	COMENTARIOS
18. Instrumentación y control	El proceso de discos biológicos rotatorios es estable bajo condiciones fluctuantes de carga orgánica e hidráulica, por lo que no se requiere de recirculación de lodo. Esta estabilidad simplifica la operación y elimina la necesidad de control en la operación e instrumentación.

#### II.4.4 Reactor UASB – filtro percolador

En estudios realizados, con respecto a los filtros percoladores, 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 el uso 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 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 ( $0.008 \text{ kg DBO/m}^3 \times \text{día}$ ).

Con este arreglo se puede alcanzar el nivel de eficiencia de tratamiento para que la concentración de DBO en el efluente no exceda  $20 \text{ mg/l}$ .

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 tabla II.4.4 se muestran los factores a considerar en la evaluación del sistema.

Tabla II.4.4 **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.
2. Intervalo aplicable al flujo	Este tipo de sistemas es capaz de tratar caudales de $160 \text{ m}^3/\text{d}$ a $8000 \text{ m}^3/\text{d}$ .
3. Variación aplicable al flujo	Es capaz de soportar cargas orgánicas desde $17.6 \text{ g DBO}/\text{hab. d}$ hasta $64 \text{ g DBO}/\text{hab. d}$ , 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.

<b>FACTOR</b>	<b>COMENTARIOS</b>
4. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a una agua residual doméstica (ver tabla "A") que proporciona la cantidad necesaria de materia orgánica para una operación óptima del proceso.
5. Compuestos inhibidores 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. Área 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.
7. Cinética de reacción y selección del reactor	Se dispone de valores para las ecuaciones cinéticas tomadas 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 permisibles para descarga de drenaje, riego agrícola y para reúso con riesgo de contacto con un postratamiento (desinfección).
9. Tipos de subproductos	Existen dos tipos de subproductos, biogás y lodo anaerobio. La producción de biogás es de 150 LNTP gas/kg DQO inf. La generación de lodos anaerobios es de 0.15 kg SST/kg DQOinf. 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 otro riesgo 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, en el reactor UASB se debe 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.
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	Una de las ventajas del sistema es la simplicidad en la operación.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

FACTOR operacion	COMENTARIOS
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.

(\*) Sembrar microbios o materias infecciosas en medios de cultivo.

Tabla (A) Composición promedio de agua residual doméstica

Contaminantes	Unidad	Débil	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	mg/l	5	10	20
DQO	mg/l	250	500	1000
DBO5	mg/l	110	220	400
Nitrogeno (Total como N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoniaco	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosforo (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 <sub>3</sub> )	mg/l	50	100	200
Grasas	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	100 ml	10E-6	10E-7	10E-8

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### II.4.5 Reactor UASB

UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) Reactor Anaerobio de Lecho de Lodos con Flujo Ascendente.

La calidad del efluente que se obtiene mediante la aplicación de los procesos anteriores, permite su reúso 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 de drenaje), 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 que cuando la concentración de DBO se encuentre no arriba de 150 mg/l.

En la tabla II.4.5 se muestran los factores a considerar en la evaluación del sistema

Tabla II.4.5 Factores a considerar para evaluar el proceso de reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB)

FACTOR	COMENTARIOS
1. Aplicabilidad de los sistemas	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, 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 1000.000 m <sup>3</sup> /d. Se han instalado y escalado sistemas para tratar efluentes de casa habitación

<b>FACTOR</b>	<b>COMENTARIOS</b>
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 carcamo de homogeneización
4. Características del agua residual	Las características del influente corresponden a un agua residual doméstica, 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 el 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 del reactor.
6. Area disponible	Dependerá del caudal de diseño por tratar y de las condiciones climáticas; el ahorro en volumen de reactor, comparando con sistemas aerobios, es de 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 planta 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 menor que 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. Tipos de subproductos	Existen dos tipos de subproductos, biogás y lodo anaerobio. La producción de biogás es de 150 LNTPgas/kg DQOinf. Con una composición promedio de 70% de CH <sub>4</sub> , 8% de CO <sub>2</sub> , y 22% de N <sub>2</sub> . La producción de lodo anaerobio es de 0.15 kg SST/kg DQOinf 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.
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 observado 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 de DQO de hasta el 75%.
12. Requerimientos químicos	Ninguno.
13. Requerimientos energéticos	Requiere únicamente de equipo de bombeo para vencer la carga hidráulica y que el flujo sea ascendente.
14. Requerimientos	No se requiere de personal calificado para la operación de este tipo de

ESTE TESIS CON NO SALE  
 FALLA DE ORIGEN TECNICA

FACTOR	COMENTARIOS
de personal	sistemas, una vez que se haya arrancado y estabilizado el reactor.
15. Complejidad en construcción y equipamiento	Generalmente los reactores son tanques rectangulares (construcción de concreto) o cilindricos (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 biogas.

#### II.4.6 Resultados de la factibilidad técnica

En la tabla II.4.6 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 solo se requiere eliminar parcialmente el agua que contienen para facilitar su manejo y disposición.

Tabla II.4.6 Características básicas de los sistemas de tratamiento seleccionados para aguas residuales domésticas (Gasto = 800 m<sup>3</sup>/d)

Sistema de tratamiento seleccionado	Eficiencia global (%DBO)	CO mg/l	DBO mg/l	SST mg/l	Generación de lodos	Drenaje riego agrícola	Reúso en actividades que involucren riesgo de contacto directo	Descarga a cuerpos de agua
Tratamiento anaerobio reactor UASB	75	40	50	40	18	Cumple	No cumple	No cumple

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Sistema de tratamiento seleccionado	Eficiencia global (%DBO)	CO mg/l	DBO mg/l	SST mg/l	Generación de lodos	Drenaje riego agrícola	Reúso en actividades que involucren riesgo de contacto directo	Descarga a cuerpos de agua
Lodos activados (aeración extendida) AE	92	21	17	20	22	Cumple	Cumple	Requiere de remoción de nutrientes
Discos biológicos rotatorios DBR	93	11	14	20	51	Cumple	Cumple	Requiere de remoción de nutrientes
Tratamiento combinado UASB-Percolador U-FP	96	6	8	10	25	Cumple	Cumple	Requiere de remoción de nutrientes

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 estos 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 puede producir efluentes con características aceptables para descarga a cuerpos de agua, siempre que se les incorpore unidades de tratamiento que remuevan nutrientes.

Se han descartado todos los procesos extensivos (lagunas de tratamiento), dado que por lo general los terrenos de las escuelas son limitados, impidiendo utilizar partes importantes de éstos para otras actividades que no correspondan a las básicas de enseñanza, como son aulas, laboratorios, talleres, áreas deportivas y administrativas; por lo que incluir una planta de tratamiento de aguas residuales implicará utilizar poca extensión de terreno.

También se han rechazado aquellos procesos donde no se justifique el nivel y costo del tratamiento (procesos fisicoquímicos), ya que lo importante de esta actividad es impactar en la conciencia del educando y utilizar las aguas tratadas para sanitarios dentro de las instalaciones de la escuela, reduciendo el consumo de agua potable y el remanente para que las utilice el municipio en cualquier otra actividad que él disponga (riego de áreas verdes, lavado de autos, etc.).

## II.5 Evaluación del proyecto

### II.5.1 Estudio de mercado

#### Problemática actual en México

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. Éste está dividido en 320 cuencas hidrológicas, con un escurrimiento medio anual de aproximadamente 410,000 millones de m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>, 3% del global en un área equivalente al 30% del país y en el sureste hay 205,000 millones de m<sup>3</sup>, es decir, el 50% de la disponibilidad para un 20% del territorio.

#### Medio Ambiente Natural, Asentamientos y Actividades Humanas

BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA POR REGIÓN, 1994  
(km<sup>3</sup>/año)

Región	Número de acuíferos	Recarga	Extracción	Disponible	Acuíferos con más del 20% de sobreexplotación
Total nacional	459	62.54	23.93	38.61	80
Noroeste	149	5.10	5.01	0.09	20
Norte	86	4.87	5.00	-0.13	20
Noreste	61	1.65	1.45	0.20	17
Lerma-Balsas	92	8.16	7.40	0.76	19
Valle de México	26	1.96	3.08	-1.12	3
Sureste	45	40.80	1.99	38.81	1

**FUENTE: Comisión Nacional del Agua, 1994. En: Poder Ejecutivo Federal, Programa Hidráulico, 1995 - 2000, México 1996.**

Debido a la necesidad existente de escasez de agua a nivel nacional, especialmente en ciertas regiones donde se acentúa más, como por ejemplo el norte del país, y habiendo ya

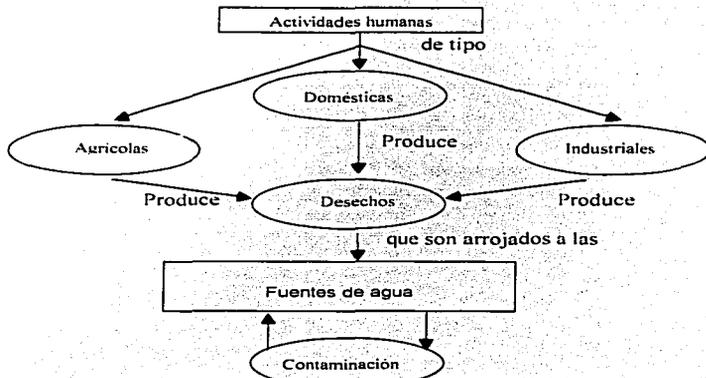
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

un requerimiento por parte de la Secretaría de Educación Pública de proponer una solución, ya que en las escuelas de los estados del norte y en algunas delegaciones de la Ciudad de México sufren realmente de dicha carencia, nos dimos a la tarea de hacer un estudio profundo para establecer una planta de tratamiento de aguas residuales para su uso en sanitarios, riego, laboratorios, talleres, principalmente.

*Definición del problema:*

El agua que existe en la naturaleza cada vez se hace más escasa, es decir, la cantidad de agua disponible para uso humano pierde las condiciones para tal finalidad, debido al alto consumo e inadecuado manejo que de ella hacemos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



El agua es buena o mala, útil o inútil según para quien, en qué lugar y en qué momento. El concepto de calidad de agua o agua de calidad es muy ambiguo.

No existe un agua químicamente pura en la naturaleza. Desde su origen en las precipitaciones, toda agua lleva disuelta diferentes sustancias químicas que van incrementándose progresivamente en contacto con el suelo y el subsuelo. Esa mineralización o contaminación natural de las aguas es mayor en las aguas subterráneas que en las superficiales, pues en el subsuelo el agua circula durante más tiempo y en contacto más íntimo con el terreno.

Por el contrario, las aguas superficiales son más susceptibles de contaminación por la actividad del hombre. Prácticamente, todas nuestras actividades necesitan en mayor o menor medida agua, desde nuestro aseo personal al funcionamiento de las grandes industrias. Este uso humano provoca modificaciones en el agua, algunas de tal calibre que la hacen inutilizable en determinado lugar y momento. El agua está entonces contaminada y es preciso depurarla.

Muchas son las formas de contaminación en un mundo como el actual. Las aguas residuales de las grandes ciudades vertidas sin depurar a los ríos, los vertidos a menudo tóxicos de grandes industrias y el empleo indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura contaminan los cauces de los ríos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La escasez y contaminación del agua limitan el desarrollo económico y social de ciertas zonas del país.

#### *La demanda:*

El consumo actual de las escuelas no se ha normado y, por otro lado, no existe la preocupación por el ahorro, ya que no se paga el servicio de agua potable en éstas. Actualmente se estima una dotación por alumno del orden de (25 l/alumno/turno) o sea  $0.025 \text{ m}^3/\text{día}$ . además, se estima un consumo por adulto dentro de la escuela, del orden de  $0.1 \text{ m}^3/\text{día}$ . Si consideramos una población de 720 alumnos por turno, por dos turnos serían 1440 alumnos, y 6 adultos trabajadores por turno.

$$(720 \text{ alumnos})(2\text{-turnos}) = 1440 \text{ alumnos} + 12 \text{ adultos} = 1452 \text{ personas}$$

$$(1452 \text{ personas})(0.025 \text{ m}^3/\text{día}) = 36.3 \text{ m}^3/\text{día}$$

y tomando en cuenta que ellos laboran dentro de la escuela, se estima un consumo diario total de  $36.3 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Si se habla de la delegación de Iztapalapa en el D.F., en donde se tienen serios problemas en el abastecimiento de agua y en donde existe un total de 25 escuelas secundarias de la SEP, se podría hablar de un consumo diario de 25 por  $36.3 \text{ m}^3/\text{día}$ , que equivalen a  $907 \text{ m}^3/\text{día}$ .

El abastecimiento de agua en la delegación Iztapalapa se estima en  $158,286 \text{ m}^3$  al día que tomando en cuenta el consumo de las escuelas secundarias, corresponde al 0.57%.

## **II. 5.2 Evaluación técnica**

### **Planta tipo paquete de dos procesos biológicos**

#### **GENERALIDADES**

##### **Criterios para dimensiones**

Cualquier planta paquete de tratamiento biológico debe estar basada en mediciones reales de flujo de descarga, para que sea tratado con relación a la carga hidráulica y el material orgánico disuelto o suspendido y aplicable a las condiciones de descarga que fije el gobierno local o federal.

El objetivo de esta planta de tratamiento será limpiar las aguas residuales producidas por la secundaria alcanzando el cumplimiento de la norma oficial NOM-ECOL-003-97, la cual

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

establece parámetros restringidos para poder reutilizar las aguas tratadas, en riego de áreas verdes y reúso en muebles sanitarios por lo que su grado de tratamiento debe ser de óptima calidad apegado a la norma mencionada anteriormente.

Por las características de las aguas residuales de su conjunto, el tipo de planta de tratamiento propuesto es una combinación de dos sistemas biológicos, para poder así lograr una máxima eficiencia en remoción de contaminantes y un bajo costo en operación (mantenimiento).

La planta consta de un reactor **anaerobio de flujo ascendente** combinada con un **filtro percolador aerado (F.P.A.)** que trabaja por inyección de aire con sistemas venturi, retrolavado semiautomático y distribuidores de agua.

Este tratamiento al final tiene una **cisterna de desinfección** por medio de ozono (generador de ozono).

Todas estas combinaciones nos dan una eficiencia en el tren de tratamiento de las aguas residuales de 90%, cumpliendo así con la norma vigente de descarga a contacto humano.

#### CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

DBO <sub>5</sub> (mg/l)	300
DQO (mg/l)	600
SST (mg/l)	100
Ph	7
Temperatura	Ambiente

#### CARACTERÍSTICAS DEL AGUA TRATADA

DBO <sub>5</sub> (mg/l)	30
DQO (mg/l)	60
SST (mg/l)	1
Ph	7
Temperatura	Ambiente

#### DATOS PARA DISEÑO

##### Tipo de tratamiento

Anaerobio de flujo ascendente  
combinado con filtro percolador aireado  
cisterna de desinfección, filtro de arena y  
cárcamo de bombeo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<b>Capacidad</b>	50 m <sup>3</sup> /día
<b>Extensión del tratamiento</b>	Biológico terciario, cumple los parámetros establecidos en la norma oficial mexicana NOM/ECOL/001/96
<b>Calidad del agua tratada</b>	El agua tratada será clara y limpia, cumpliendo con lo especificado en generalidades.

## DESCRIPCIÓN DEL TREN DE TRATAMIENTO

Para el caudal y características del agua residual mencionada anteriormente, se propone una planta con dos sistemas biológicos combinados.

**La primera es un reactor anaerobio de flujo ascendente (R.A.F.A.) y el segundo es un filtro percolador aerado (F.P.A.), una cisterna de desinfección, filtro de arena y cárcamo de bombeo.**

Este tratamiento se seleccionó debido a que se requiere un mínimo de equipo y mantenimiento, así como por su baja producción de lodos y producción de biogás (gas metano).

La planta de tratamiento consiste en un sistema de **rejillas** en el cual son detenidos los sólidos gruesos y un **desarenador** en el cual las arenillas son precipitadas dando paso a las aguas residuales y de ahí son enviadas a un **cárcamo de bombeo y tanque de homogenización** que nos sirve para equilibrar el pH; el cual cuenta con dos bombas sumergibles para bombear agua residual al reactor y regresar parte de ella a la primera mampara para homogenización.

El agua entra a un **reactor anaerobio de flujo ascendente**, construido en fibra de vidrio el cual recibe la alimentación del agua cruda por el fondo, con el fin de que ésta reaccione con el lecho de lodos dando paso a las aguas residuales en condiciones anóxicas.

La degradación anaerobia produce gas metano (biogás), el cual se capta en una campana de expulsión en la parte superior del reactor y de la cual sale un ducto y es venteado a la atmósfera.

La clarificación se efectúa dentro del mismo reactor anaerobio, produciendo una agua tratada clara y limpia.

Para aumentar la efectividad de la degradación de la materia orgánica existente (del reactor anaerobio) pasa a un segundo tratamiento que es el **filtro percolador aerado** que trabaja de la siguiente manera.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la parte media del filtro percolador aerado están colocadas unas bombas sumergibles que transfieren agua a la parte alta del filtro y que con la ayuda de venturitis atrapa aire de la atmósfera para luego ser conducido (aire y agua) a unos aspersores, los cuales tienen la función de distribuir agua y aire en toda la superficie superior del filtro y ésta a su paso acelerar la degradación de la carga orgánica que quedó del tratamiento anaerobio y esto se logra gracias a las bacterias facultativas presentes (géneros proteus pseudomonas etc.). El lodo (sedimento) del F.P.A. se recircula interiormente con la ayuda de una bomba sumergible y cuando se satura la parte baja del filtro con lodo, éste se transfiere al reactor anaerobio a través de un sistema de by-pass, para luego ser regresado al desarenador y a su vez inyectado al reactor anaerobio.

El agua tratada sale de la parte media del filtro percolador aerado por gravedad y clarificada a través de un serpentín vertical interno ya con las características descritas anteriormente.

Las bombas son controladas por un panel de control, el cual le indica a cada bomba cuándo arrancar y parar.

El agua pasa por derrame a la **cisterna de desinfección** (con generador integrado de ozono) la función como su nombre lo indica de desinfectar el agua de bacterias patógenas para el ser humano (eschericha coli entre otras) por medio de oxidación directa, destruyendo virus, bacterias y protozoarios además de actuar como oxido-reducción (redox).

Después que el agua a pasado por este tren de tratamiento ya ha tomado las características para la cual fue diseñada (descrito anteriormente).

Para incrementar más la calidad de agua tratada pasa por el siguiente sistema que son los filtros de arena y carbón activado con retrolavado semiautomático y, como su nombre lo indica, la función de este sistema es de pulir el agua tratada.

Después de este paso el agua sale por gravedad hacia el cárcamo de bombeo para transferir agua tratada a los sanitarios de la escuela o para riego de zonas verdes o a donde disponga el municipio. En este tanque están colocadas unas bombas que trabajan simultáneamente por paro y arranque mediante electroniveles.

Este sistema de tratamiento es muy conveniente debido a que produce una cantidad muy baja de lodos, eliminando así la necesidad de hacer lechos de secado.

Lo anterior se traduce en menores costos de operación y molestias de retiro de lodos, la frecuencia de remoción de lodos puede ser de más de dos años, dependiendo de la carga orgánica del agua a tratar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **DESCRIPCIÓN DEL SUMINISTRO**

### **Sistema operacional y alcances:**

El tren de tratamiento esta diseñado para recibir sobrecargas (picos) de agua residual y sin que afecte de modo gradual la calidad de agua tratada.

### **Sistemas de rejillas y desarenador de concreto armado:**

**Tiempo de retención hidráulica: 10 minutos**

Este sistema cuenta con 2 rejillas coladoras con una inclinación de 45°.

### **Cárcamo de bombeo y de homogenización de concreto armado:**

**Tiempo de retención hidráulica: 1 ½ hora**

Este sistema cuenta con 2 bombas que trabajan alternadamente así como con 2 bombas más para airear el sistema y homogenizarlo.

### **Reactor anaerobio de fibra de vidrio:**

**Tiempo de retención hidráulica: 8 horas**

En el reactor es en donde se lleva a cabo la mayor degradación de la materia orgánica y está compuesto de cajas distribuidoras, campana recolectora de biogas, empaque para fijación bacteriana, escalera marina, válvula para desalojo de lodos, tubo nucleador para medición de lodos.

### **Filtro percolador aerado empacado de flujo descendente de fibra de vidrio:**

**Tiempo de retención hidráulica: 4.5 horas**

En este proceso es en donde se lleva a cabo el pulimento del agua tratada y está compuesta por 2 bombas sumergibles que trabajan en forma alternada y por tiempos que ayudan a distribuir agua en la parte superior del filtro con ayuda de difusores superficiales y venturís. Una bomba más para el desalojo o recirculación de los lodos colocada en la parte inferior del filtro (esta bomba tanto de aire como de lodos trabajan alternadamente mediante un panel de control, timer de tiempo). El medio filtrante es un material inerte de polipropileno tipo Biodek o tipo biofiltrante, la capacidad de filtración es de 120 m<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de empaque. Este medio filtrante es en donde se forma la biopelícula de bacterias facultativas y ellas son las encargadas de remover la materia orgánica que quedó presente en el reactor anaerobio. Está compuesto de pasillos perimetrales de 70 cm, barandales de protección y escalera marina.

### **Cisterna de desinfección de fibra de vidrio:**

#### **Tiempo de retención hidráulica: 45 minutos**

En este sistema el agua tratada pasa por gravedad en forma directa a la cisterna de desinfección, en la parte inferior de la cisterna tenemos difusores por los que se inyecta ozono en forma directa como fuente de desinfección así también para degradación directa (redox) y con un tiempo de contacto de media hora suficiente para que se lleve a cabo el rompimiento de la membrana celular. Este sistema cuenta con serpentín de clarificación (terciaria).

#### *Filtro de arena y grava:*

Tiempo de retención hidráulica: 10 minutos por cada uno (alternados)

**En este sistema se lleva el pulimento (filtración de los sólidos suspendidos volátiles y sedimentables.**

### **Cárcamo de bombeo de concreto:**

#### **Tiempo de retención hidráulica: 1 hora**

Como su nombre lo indica, la función de este sistema es de bombear agua tratada hacia la cisterna de almacenamiento y para ello cuenta con dos bombas sumergibles de 2 H.P. que trabajan alternadas, así como también dos bombas centrifugas para el retrolavado de los filtros.

Planta de tratamiento (TREN) modelo MR6 con capacidad de tratamiento de 50 m<sup>3</sup>/día  
Que consta de las siguientes partes:

- Canastilla percoladora (2)
- Reactor anaerobio (1)
- Filtro percolador aereado semi-automático (1)
- Cisterna de desinfección (1)
- Panel de control (1)
- Generador de ozono
- Lote de tubería para el adecuado funcionamiento
- Bombas (3) ½ H.P. (filtro percolador aereado)
- Bombas (2) ½ H.P. (cisternas de bombeo) agua tratada
- Arrancadores para cisterna de bombeo
- Manual de operación

### **ESPECIFICACIONES DEL TREN DE TRATAMIENTO**

Modelo	Largo	Ancho	Alto	Peso	Amperaje	Descargas por día
MR6	6.5 m	2m	2.2m	1500 kg	127 V	12

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **OBRA CIVIL**

### **1 desarenador**

Largo 1.60m  
Ancho 0.60 m  
Alto 0.80 m

### **2 cárcamos de bombeo**

Largo 1.60 m  
Ancho 1.00 m  
Alto 1.50 m

### **1 filtro de arena y 1 filtro de carbón activado**

Largo 0.50 m  
Ancho 0.50 m  
Alto 1.20 m

Nota: al enterrar la planta se ahorra un cárcamo de bombeo.

**Requerimientos:** cajón donde va estar puesta la planta para su protección (ésta va estar enterrada) ya que en la parte superior puede funcionar como estacionamiento o área verde, tiene las medidas superiores (internas).

**Profundidad:** La profundidad a excavar sería la que nos dé el último registro (desarenador y de ahí empezar a excavar), por ejemplo, si está a nivel de suelo el desarenador, la profundidad a excavar sería 2 m y si no la que nos de más de 2 m.

Este cajón llevará un firme de concreto y su nivelación para un correcto funcionamiento de la planta, escalera marina para mantenimiento, paredes de ladrillo, castillos en la esquina, traveses y rejillas superiores tipo Irving (3) para cubrirla.

Mantenimiento cada año en filtros de arena y carbón activado con un costo de \$13,800.00 - I.V.A.

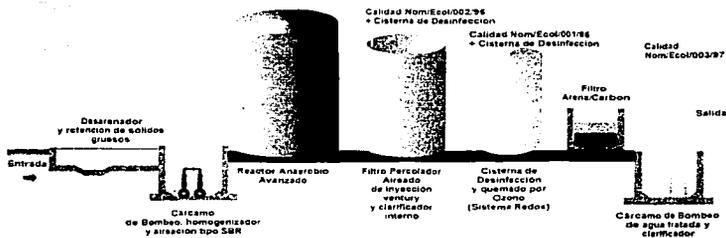
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## El sistema de dos procesos biológicos modular

El sistema de dos procesos biológicos modular es similar al anterior (dos procesos biológicos de paquete integral).

El tren de tratamiento está compuesto por:

1. Un sistema de separación de sólidos gruesos y desarenador.
2. Un cárcamo de bombeo y homogenizador tipo SBR.
3. Un reactor anaerobio de flujo ascendente del tipo avanzado.
4. Un filtro percolador aireado empacado de flujo descendente y serpentín de clarificación con retrolavado automático (controlado por un panel de control el cual le indica a las bombas cuándo arrancar y parar).
5. Una cisterna de desinfección (por generador de ozono).
6. Un filtro de arena, grava y carbón activado con retrolavado semiautomático.
7. Un cárcamo de bombeo.



La diferencia radica en que este equipo está fabricado en cuatro módulos de forma cilíndrica: reactor anaerobio; filtro percolador aireado de inyección venturi y clarificador interno; cisterna de desinfección y quemado por ozono; y filtro arena-carbón. Tanto el desarenador, cárcamo de bombeo homogeneizador y aireación tipo SBR, a la entrada, como el cárcamo de agua tratada y clarificador, son similares en este sistema y el anterior.

Por lo tanto, las características del agua a tratar, las características del agua tratada y los datos para diseño, son similares.  
La superficie requerida para la instalación de este tipo de planta es de 40 m<sup>2</sup>:

Largo: 10 m  
Ancho: 4m  
Alto: 6 m

Costo: S 425,520.00 más IVA

Flete: S 25,000.00 más IVA

Obra civil para la instalación de la planta: S 40,000.00 más IVA

Tipo de contrato: Llave en mano

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Sistema Coreano de México

### Descripción del tren de tratamiento:

El proceso inicia con la descarga del desagüe a una fosa o cárcamo de bombeo, con una combinación de tres funciones: sedimentación, amortiguamiento y bombeo, donde se conduce posteriormente a un filtrado tipo rejilla para retener los sólidos gruesos del influente, los cuales son retirados periódicamente, ya que este filtro está diseñado para tal fin. La capacidad de amortiguamiento deberá ser suficiente para controlar el nivel de descarga diaria en los picos del flujo.

Posteriormente el influente, ingresa al sistema tipo paquete; inicia en una primera cámara, con un sistema anóxico, en este paso se introduce aire y se recirculan constantemente los lodos, con el propósito de tener una alta remoción, evitando el hidrógeno y el fósforo que impida el crecimiento bacteriano; en este punto el proceso ni es aerobio ni anaerobio.

Posteriormente pasa a una segunda cámara, con un sistema anaerobio, donde se interrelacionan las bacterias con la carga orgánica del influente mediante unos agitadores, con esta combinación de procesos (anóxico-anaerobio), se logra tener un excedente que hay que retirar, como en cualquier otro proceso de generación de lodos, pero de tan sólo un 20% con relación a los otros sistemas. Esto último en un proceso continuo, pero si el proceso que se requiere es semicontinuo, como en el caso de una escuela, donde las descargas no son constantes (cuando no hay influente), se mantiene el mismo volumen de líquido dentro del sistema, por lo que la producción de lodos es aún menor, ya que el lodo al estar recirculando sin incremento de carga orgánica se desintegra; esto es, en todo procedimiento biológico al no haber de qué alimentarse las bacterias, se comen entre ellas.

Por último, pasa a la cámara aerobia, donde se tienen la menor carga orgánica y se estabiliza el proceso, en ésta se encuentran unas membranas (de forma tubular), que sirven de filtro y donde se atrapa cualquier bacteria que pudiera salir del proceso. Estas membranas consisten de tubos porosos de un material parecido al plástico, con poros de micras que impiden el paso de cualquier elemento ajeno al agua; a continuación, se esquematiza esta situación.

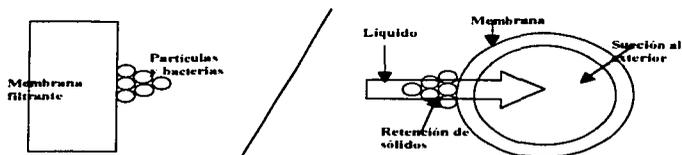


Figura II.7 Cámara aerobia

Para lograr este último proceso, se genera vacío del lado exterior, provocando la succión del líquido tratado, de tal manera que se obtiene al final del proceso (efluente), agua limpia, con una calidad casi potable. Por norma se clora esta agua para lograr su potabilización total.

En la segunda cámara, con un agitador, se interrelacionan las bacterias por otro lado de no tener influente, se mantienen las bacterias, recirculando el líquido.

Anaerobio un sistema donde se inyecta aire y no hay circulación de lodos, donde se desestabiliza y se absorbe más rápido el oxígeno de los contaminantes.

#### **El caudal se calculó con los siguientes datos para una Secundaria:**

No. de alumnos:	550
Gasto por alumno:	50 litros
Caudal total a tratar:	38,500 litros/día
Caudal de diseño:	43,200 litros/día
Caudal instantáneo de diseño:	0.5 litros/segundo
Gasto extraordinario máximo de soporte:	0.6 litros/segundo

#### **Características del agua residual a tratar:**

DBO <sub>5</sub> (mg/l)	300
DQO (mg/l)	600
SST (mg/l)	200
Grasas y aceites (mg/l)	100
Coliformes Totales (NMP/100ml)	10
pH	10
Temperatura	Ambiente

#### **Características del agua tratada:**

Potable a temperatura ambiente.

#### **Las dimensiones de la planta son:**

Largo:	4 m
Ancho:	2 m
Alto:	4 m

La superficie requerida para la instalación de esta planta es de 15 m<sup>2</sup> aproximadamente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

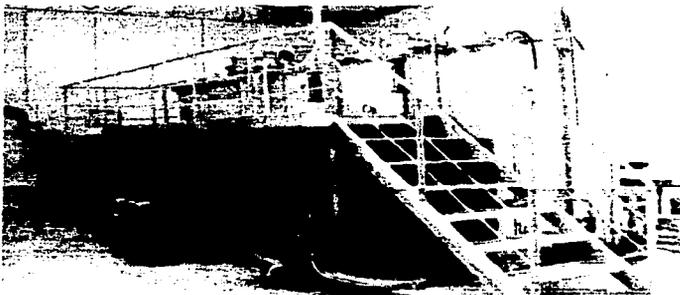
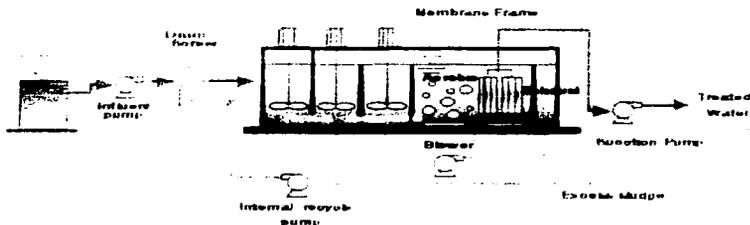
Utiliza 3 bombas para provocar el flujo del influente en el proceso de 1 HP cada una y una bomba para generar vacío y enviarlo al exterior de 1 HP.

El costo de la planta es de

Costo: S 1'270,000.00 más IVA

Flete: S 25,000.00 más IVA

**Obra civil para la instalación de la planta: S 45,000.00 más IVA**



### 11.5.3 Estudio y evaluación económica

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA INSTALACIÓN DE  
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO EN UNA ESCUELA SECUNDARIA DE LA SEP**

Estimación de la tasa interna de retorno						
		Dos Proc. Biológ. Paq.	Dos Proc. Biológ. Mod.			Coreana
TIR	0.15	Modificar				
VPN <sub>E</sub>		463,794.24	699,379.63	1,643,104.89		
VPN <sub>I</sub>		466,195.01	466,195.01	599,493.58		
VPN <sub>E</sub> -VPN <sub>I</sub>		2,400.77	-233,184.62	1,048,711.29		
TIR (i*) (oscila entre)		0.16	0.06	0.07	0.03	0.04
Cálculo del valor presente neto, utilizando una tasa de interés de						
0.15						
VPN <sub>E</sub> (Inversión)		463,794.24	699,379.63	1,643,104.89		
VPN <sub>I</sub> (Costo del agua)		2,400.77	466,195.01	599,493.58		
<b>Resultado:</b>	De acuerdo con lo que se puede observar la alternativa más apropiada es la de dos procesos biológicos, ya que es la que requiere menor inversión y la que ofrece una mayor tasa interna de retorno.					

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

99

## Inversiones requeridas para la planta de tratamiento de Dos Proc Biol Paq

Concepto	Costo inicial	No de Elem	\$ Mantenimiento		Costo Total (cada año)	Costo Total (cada 4 años)	Costo Total (cada 5 años)	Costo Total (cada 10 años)	
			Prev 0.1 Período	Correct 0.55 Período					
Planta	243,480.00	1							
+IVA	280,002.00								
Obra Civ	35,000.00								
+IVA	40,250.00								
Mto a filtros de arena					13,800.00				
Flete	25,000.00								
+IVA	28,750.00								
Insumos									
Energía eléctrica	0.53				2,105.00				
Equipo Eléctico									
Compresor 1/2 hp	3,800.00	1	380.00	2,090.00	380.00		2,090.00	3,800.00	
Bomba de 1/2 hp	551.00	5	275.50	1,515.25	275.50		1,515.25	2,755.00	
Bomba Pl/Aspersor 1/2 hp	551.00	1	55.10	303.05	55.10		303.05	551.00	
Instalación de equipo	6,000.00	1				6,000.00			
<b>TOTAL INICIAL</b>	<b>349,002.00</b>				<b>TOTAL</b>	<b>16,615.60</b>	<b>6,000.00</b>	<b>3,908.30</b>	<b>7,106.00</b>
	<b>A</b>				<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Inversiones requeridas para la planta de tratamiento de Dos Proc Biol Modul

Concepto	Costo Inicial	No de Elem	\$ Mantenimiento			Costo Total (cada año)	Costo Total (cada 4 año)	Costo Total (cada 5 año)	Costo Total (cada 10 año)
			Prev 0.1	Periodo	Correct 0.55				
Planta	425,520.00	1							
+IVA	469,348.00								
Obra Civ	40,000.00								
+IVA	46,000.00								
Mito a filtros de arena						13,800.00			
Flete	25,000.00								
+IVA	26,750.00								
Insumos									
Energia eléctrica	0.53					4,911.67			
Equipo Eléctico									
Compresor 1/2 hp	3,800.00	1	380.00		2,090.00	380.00	2,090.00	3,800.00	
Bomba de 1/2 hp	551.00	2	110.20		606.10	110.20	606.10	1,102.00	
Bomba de 1 hp	650.00	8	520.00		2,860.00	520.00	2,860.00	5,200.00	
	6,000.00	1					6,000.00		
<b>TOTAL INICIAL</b>	<b>964,098.00</b>					<b>19,721.87</b>	<b>6,000.00</b>	<b>5,556.10</b>	<b>10,102.00</b>
	<b>A</b>					<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

101

### Inversiones requeridas para la planta de tratamiento Coreana

Concepto	Costo inicial	No de Elem	Mantenimiento			Costo Total (cada año)	Costo Total (cada 4 años)	Costo Total (cada 5 años)	Costo Total (cada 10 años)
			Prev 0.1	Correcto 0.55	Periodo				
Planta	1,270,000.00	1							
+IVA	1,460,500.00								
Obra Civ	45,000.00								
+IVA	51,750.00								
Mtto a filtros de arena						13,800.00			
Flete	25,000.00								
+IVA	28,750.00								
Insumos									
Energía eléctrica	0.53					2,105.00			
Equipo Eléctico									
Compresor 1/2 hp	3,800.00	1	380.00	2,090.00		380.00	2,090.00	3,800.00	
Bomba de 1/2 hp	551.00	2	110.20	606.10		110.20	606.10	1,102.00	
Molinos plagitadores 1hp	551.00	3	165.30	909.15		165.30	909.15	1,653.00	
	0.00	0					0.00		
<b>TOTAL INICIAL</b>	1,541,000.00					16,560.50	0.00	3,605.25	6,555.00
	A					B	C	D	E

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### **II.5.4 Fuentes de financiamiento**

Para la instalación de plantas de tratamiento en escuelas secundarias, con el propósito no sólo de reducir el consumo de agua en éstas, sino impactar socialmente en la educación sobre el cuidado del medio ambiente, puede ser atractivo para la comunidad nacional e internacional, por lo tanto se plantean varias opciones, con la finalidad de lograr este objetivo.

Existen tres entornos posibles de financiamiento: instituciones internacionales de apoyo, banca nacional y la industria privada. Todos éstos de un alto potencial, en el apoyo a proyectos que beneficien a la sociedad y al medio ambiente.

##### Nivel nacional

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), cabeza del sector hidráulico, que entre sus funciones está la de preservar el medio ambiente y promover a través de la Comisión Nacional del Agua la educación hacia el cuidado del agua, podría participar en el financiamiento de este proyecto, como promoción a sus funciones.

La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) ha colaborado con proyectos que coadyuvan al desarrollo de diferentes comunidades, principalmente comunidades rurales; en el rubro de agua potable, estas inversiones son generalmente a fondo perdido, y puede ser atractivo el hecho de que coadyuve en el cuidado de los recursos naturales y en la educación de la sociedad.

Otro podría ser el Banco Nacional de Obras (BANOBRAS), el cual ha colaborado con la Comisión Nacional del Agua en el financiamiento de algunos proyectos, que beneficien el desarrollo de comunidades y la protección al ambiente.

##### La industria privada

La cual ha colaborado en proyectos de beneficio colectivo, aprovechando este hecho para su publicidad, proyectando su imagen en el beneficio social y ambiental.

##### Nivel internacional

En este entorno, existen dos posibilidades la banca internacional de desarrollo y cooperación y las agencias de países desarrollados, que apoyan a los pobres.

Respecto a la banca internacional podían ser, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Mundial, los cuales han apoyado en nuestro país proyectos de infraestructura hidráulica, que beneficie tanto a comunidades rurales, zonas en desastre y al ambiente.

En el entorno de agencias de países desarrollados, existen por ejemplo, el Banco Alemán de Cooperación para el Desarrollo (KfW) y la Agencia Internacional de Cooperación

Japonesa (JICA), los cuales han colaborado con proyectos hidráulicos y capacitación de personal del sector hidráulico en nuestro país, así como el apoyo para la transferencia de tecnología para ser aplicada en la solución de problemas del sector hidráulico en nuestro país.

Otra opción podría ser la mezcla de recursos de algunas propuestas anteriores, de tal manera que la inversión sea mayor y, en un momento dado, se logre el apoyo para instalar plantas de tratamiento en escuelas secundarias públicas instaladas en zonas críticas de abastecimiento de agua y que esto sirva como semillero para que posteriormente se invierta en todas las escuelas que pertenecen la Secretaría de Educación Pública.

Para lograr el apoyo es necesario plantear a las instituciones y empresas potencialmente factibles el presente estudio, resaltando el hecho de que el beneficio es para las comunidades donde sean instaladas, tanto social, como ambientalmente. El cambio de comportamiento hacia el cuidado del recurso agua, que impacte en el medio ambiente y por otro lado, la disminución de consumo de agua de la comunidad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPÍTULO III PROPUESTA**

Actualmente, el tratamiento de las aguas residuales no puede verse sólo como la disposición de residuos para prevenir un ambiente insalubre, debe formar parte de una política general de protección al ambiente, para preservar la vida en el planeta.

Sin embargo, los esfuerzos realizados en materia de protección y tratamiento de 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 como modelo educativo de la población, debido a esta situación, se debe contar con programas adecuados destinados a modificar en dicha población los hábitos y conductas que afecten al medio ambiente, por ello, es imprescindible involucrar a los medios de comunicación, a los organismos educativos y a los distintos sectores industriales para realizar campañas continuas de sensibilización y diseñar nuevos modelos de consumo que no impacten negativamente el entorno.

Es por ello que se propone la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales en una secundaria técnica de la Secretaría de Educación Pública.

### **III.1 SELECCIÓN DE LA PLANTA**

Cuando se lleva a cabo un proyecto se presentan varias opciones, y la información sobre las alternativas económicas es importante ya que éstas son representadas en forma cuantitativa en función de los ingresos y los desembolsos de efectivo que se realizan.

Cuando se requieren inversiones de capital para equipos, materiales y mano de obra, a fin de llevar a cabo dichas alternativas, se involucran algunas de las técnicas de la ingeniería económica que pueden utilizarse para ayudarnos a determinar la factibilidad del proyecto.

### **EL MÉTODO DEL VALOR PRESENTE**

Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros, que generará un proyecto comparándolo con el desembolso o la inversión inicial para el proyecto.

La fórmula utilizada para evaluar el VPN de los flujos generados por el proyecto es:

$$VPN = A (P/A, i, n)$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Donde: VPN= Valor presente neto  
A= Anualidad  
P= Presente  
i= Interés  
n= Numero de años

$$VPN = P (P/F, i, n)$$

Donde: VPN= Valor presente neto  
F= Futuro  
P= Presente  
i= Interés  
n= Numero de años

El método del VPN, tiene varias características que la hacen apropiadas para usarse como una base de comparación capaz de resumir las principales diferencias que se derivan de las diferentes alternativas de inversión.

- Si el valor presente neto es cero, se considera que no hay pérdida ni ganancia, pues el dinero está produciendo la misma tasa de intereses.
- Si el valor presente es positivo, es equivalente a recibir esa cantidad positiva hoy a esa tasa mínima atractiva, es decir el rendimiento es superior que la tasa mínima atractiva.
- Si el valor presente es negativo, el proyecto es indeseable, porque equivale a invertir ahora a cambio de no recibir nada mañana, es decir el proyecto rendirá una tasa menor.

Se recomienda el uso de diagramas de flujo de efectivo para las situaciones en las que se necesita clasificar o visualizar lo que implica cuando ocurren flujos de dinero en distintos tiempos.

Los flujos de entrada de efectivo o recibos pueden estar compuestos de los siguientes elementos:

#### Elementos de entrada de efectivo

- Ingresos
- Producciones en el costo de operación
- Valor de salvamento de activos
- Recibo del principal de un préstamo
- Ahorros en impuestos sobre la renta

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Ingresos provenientes de la venta de acciones y bonos
- Ahorros en costos de construcción e instalaciones
- Ahorros o rendimientos de los fondos de capital

#### **Elementos de salida de efectivo o desembolsos**

- Primer costo de activos (con instalación)
- Costos de operación (anual e incremental)
- Costos de mantenimiento periódicos y de reconstrucción
- Pagos de interés y del principal de un préstamo
- Aumento esperado de costos principales
- Impuestos sobre la renta
- Pagos de bonos y de dividendos de bonos
- Gastos de fondos de capital corporativo

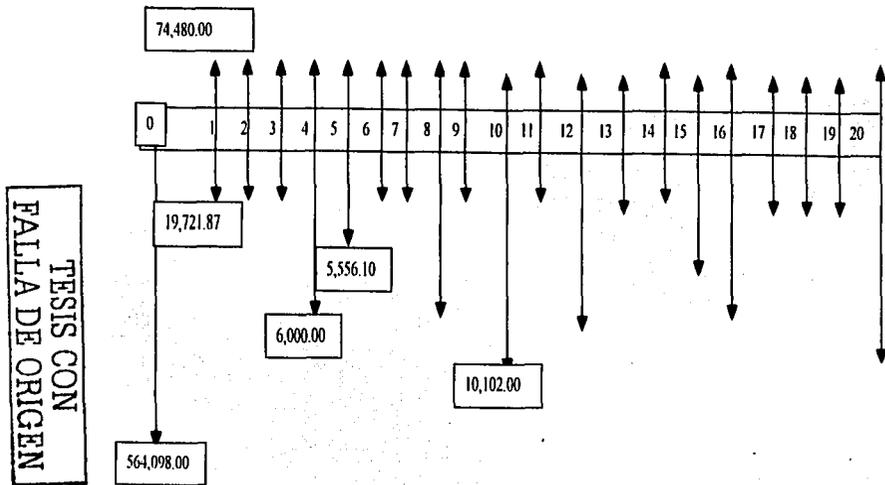
Una vez que se desarrollan estimaciones de entradas y salidas de efectivo, el flujo de efectivo neto durante un determinado periodo de tiempo puede representarse como:

Flujo de efectivo neto = recibos – desembolsos

= entradas de efectivo – salidas de efectivo

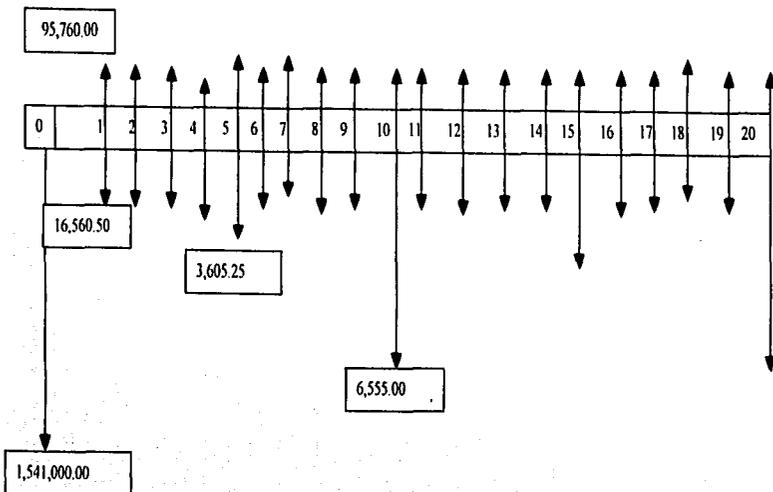
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# Diagrama de flujo de efectivo de la planta de tratamiento dos procesos biológicos modular



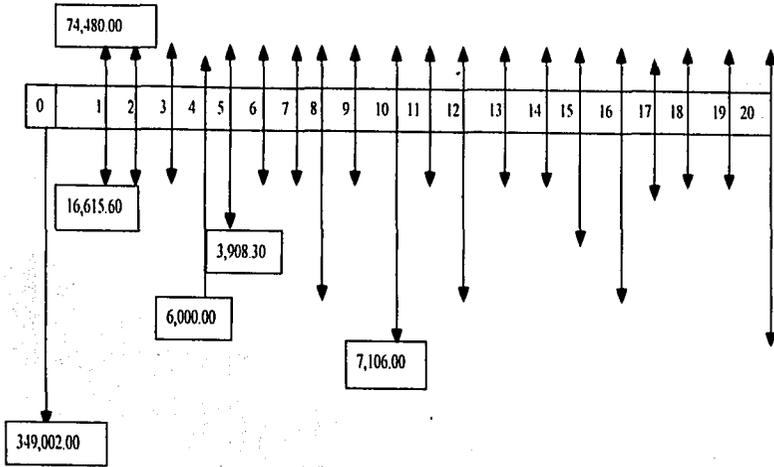
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# Diagrama de flujo de efectivo de la planta de tratamiento Coreana



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Diagrama de flujo de efectivo de la planta de tratamiento dos procesos biológicos tipo paquete



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De acuerdo con el estudio realizado, la propuesta más adecuada es la planta de tratamiento dos procesos biológicos tipo paquete, ya que se observa que la tasa interna de retorno (TIR) tiene el mayor porcentaje, así como el valor presente neto (VPN) de la inversión es el menor.

### **III.2 INSTALACIÓN DE LA PLANTA**

#### **OBRA CIVIL**

1. Para hacer llegar el agua negra hasta la planta de tratamiento tipo paquete existe una distancia de 99.82 m, según el plano de la Instalación Sanitaria Propuesta, con una pendiente mínima de 0.006 mm/m y tubería de concreto simple de 15 cm de diámetro.
2. Para el punto anterior se contempla la construcción de 13 registros de drenaje a diferentes niveles de profundidad.

#### **RECOMENDACIONES PARA DRENAJE**

- La línea de drenaje debe estar lo más recta posible.
- La línea de drenaje más cercana a un muro, no debe pasar a menos de un metro de distancia de un muro.
- Hay que marcar los sitios donde van a estar los registros; y tomar en cuenta que debe de haber una distancia de 10 m, como máximo entre ellos y señalar también aquellos puntos donde haya algún cambio de dirección del drenaje.
- Es necesario ubicar un registro a un metro de distancia entre el límite del terreno y la calle.
- El fondo de la zanja debe tener una pendiente mínima de 0.006 mm/m (por cada metro que se avance, para que el agua escurra con mayor facilidad).
- La zanja se hace más ancha en los lugares donde se colocará un registro.
- Cuando se ha determinado la excavación, se apisona el "fondo" y se rectifica la pendiente para hacer los ajuste necesarios.

- El diámetro de los tubos de drenaje de concreto es de 15 cm. Conviene utilizar los tubos de 15 cm en todo el ramal que va de registro a registro (evitando así obstrucciones).
- Los tubos se pegan con una mezcla de arena fina y cemento, la mezcla se coloca en la punta; nunca en la campana.

## CONSTRUCCIÓN DE REGISTROS

Los registros son "cajas" con paredes de tabique o tabicón.

La base del registro se hace con una plantilla de tabique de 5 cm de espesor pegada con una mezcla de cal y arena.

Las medidas interiores del registro son de 60 x 40 cm, y el lado que tiene 60 cm sigue la dirección de la tubería.

La profundidad del registro es variable de acuerdo a la pendiente de la tubería.

Es importante también que en el fondo del registro se construya una canal con dirección al desagüe, esta canal se hace con medio tubo de concreto cortado a lo largo, formando una media caña. Nota: hacer chaflanes en las orillas.

Los muros internos del registro se aplanan con una mezcla de cemento arena (después se pulen), ya que su acabado liso hará que el contenido del desagüe resbale fácilmente.

Los registros se cierran con una tapa removible de cierre hermético, estas tapas se hacen con armazones metálicas sobre las que se hace un colado de concreto. Las armazones se les conoce como marco y contramarco para tapa de registro.

3. Al efluente de la planta tipo paquete se construirá una trinchera en forma circular, para alojar la cisterna marca rotoplas de 2800 l de capacidad. (1.80 m altura y 2.00 m diámetro exterior)

Nota: Para bombear agua tratada se necesita una bomba de ½ HP que lleve el agua hacia los tinacos en la azotea.

4. Se adecuará el área para instalar una caseta de lámina pinto para resguardo de planta tipo paquete.
5. En el registro de drenaje marcado con el número 2 y con nivel de profundidad

(-1.35) se instalará una válvula de compuerta de 4" de diámetro.

## INSTALACIONES

1. Instalación de 1 toma-corriente de 127 V.
2. Instalación de 1 apagador de 1-vía sencillo de 127 V.
3. Instalación de luminaria tipo fluorescente de 2 X 38 watts.
4. Instalación de iluminación incandescente para foco spot de 75 watts.
5. Instalación de 1 interruptor termomagnético QO-120 de 30 amperes.  
(control de bomba de ½ HP)
6. Instalación de tubo de PVC ¾" de diámetro (96.43 m), alimentación de agua tratada a tinacos en la azotea.
7. Instalación de bomba de ½ HP para bombear agua tratada hacia los tinacos en la azotea.
8. Instalación de 2 electroniveles (bombeo de agua tratada hacia los tinacos en la azotea).

**Nota 1.** El llenado de tinacos será automático controlado con electro-niveles, en tinacos y cisternas (cárcamos) para protección por bajo nivel.

**Nota 2.** Colocar electro-niveles en un tinaco que no reciba alimentación de agua.

**Nota 3.** Los tinacos en la azotea recibirán **agua-potable** y **agua-tratada** para el uso de los sanitarios.

**Nota 4.** Marcar un tinaco en la azotea de cada edificio que sólo reciba **agua-potable**, para la alimentación de lavabos y fregaderos.

**Nota 5.** Marcar y/o pintar con un color la tubería que llevará **agua-tratada**, así como también las derivaciones para el riego de áreas verdes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## COSTOS DE INSTALACIÓN

### Planta Dos Sistemas Biológicos Combinados

Partida	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (pesos)	Importe (pesos)
1	Instalación de caseta de lámina pintora de 3.75 X 3.75 m con una puerta y una ventana	pieza	1	9,745.00	9,745.00
2	Salida para contacto doble polar 127 V	activ.	1	351.50	351.50
3	Salida para apagador 1-vía sencillo 127 V	activ.	1	264.50	264.50
4	Suministro y colocación de luminaria fluorescente para sobreponer c/r 2 X 38 watts	pieza	2	100.00	200.00
5	Salida para iluminación incandescente de spot de 75 watts	activ.	1	295.00	295.00
6	Suministro y colocación de 1 interruptor termomagnético QO-120 Marca Square D 30-ampere	pieza	1	62.00	62.00
7	Suministro y colocación de tubo PVC 19 mm (3/4)	metro lineal	96.43	10.70	1,031.80
8	Suministro y colocación de accesorios de PVC 19 mm (3/4)	pieza	7	4.50	31.50
9	Suministro de cisterna marca Rotoplas de 2,800 lts. De 1.80 m altura y 2.00 m diámetro exterior	pieza	1	4,825.00	4,825.00
10	Construcción de trinchera para alojar cisterna marca Rotoplas	activ.	1	6,664.00	6,664.00
11	Demolición de pisos de cemento de 0.10 cm espesor	m <sup>2</sup>	23.00	59.89	1,377.50
12	Suministro e instalación de tubería de concreto simple de 15 cm de diámetro, incluye maniobras, bajado, junteo con mortero. Cemento-arena 1:3 y desperdicios	metro lineal	99.82	28.90	2,884.80
13	Relleno de cepas con material producto de la excavación incluye: selección y volteo a mano	m <sup>3</sup>	31.14	10.00	311.40

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Partida	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (pesos)	Importe (pesos)
	con pala, compactado con pisón de mano. Largo x ancho x alto (99.82 x 0.60 x 0.52)				
14	Suministro y colocación de 1 válvula de compuerta de 4" diámetro	pieza	1	1,764.00	1,764.00
15	Construcción de 13 registros de drenaje a diferentes niveles de profundidad	activ.	1	12,067.00	12,067.00
16	Suministro e instalación de bomba de ½ HP	pieza	1	551.00	551.00
17	Suministro y colocación de electroniveles	pieza	2	250.00	500.00
					42,926.00

NOTA: SE ANEXA EL PLANO DE LA INSTALACIÓN PROPUESTA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### III.3 Determinación del periodo de recuperación de la inversión

\* Para calcular el periodo de recuperación, a una tasa de retorno dada, se utiliza el siguiente modelo, a fin de determinar el valor  $n'$  en años:

$$0 = -P + \sum_{t=1}^{n'} FC_t(P/F, r\%, t)$$

$P$ : Costo inicial

$FC$ : Flujos de caja

$$n' = \frac{P}{FC}$$

*Dos procesos biológicos tipo paquete*

$P = 530084.79$

$FC = 74480$

$7.1171 = (P/A, 8\%, n')$

Años	Factor
10	6.7101
<b>10.9489391</b>	<b>7.1171</b>
11	7.139

**Tiempo de recuperación de la inversión: 10.9489391 años**

*Dos procesos biológicos tipo modular*

$P = 777365.37$

$FC = 74480$

$10.4372 = (P/A, 8\%, n')$

Años	Factor
23	10.3711
<b>23.4191503</b>	<b>10.4372</b>
24	10.5288

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tiempo de recuperación de la inversión: 23.4191503 años**

**Sistema Coreano**

$$P = 1709454.21$$

$$FC = 95760$$

$$17.8514 = (P/A, 8\%, n')$$

**Tiempo de recuperación de la inversión: mayor a 100 años**

*Cuadro comparativo*

	<b>Planta Dos Procesos Biológicos Tipo Paquete</b>	<b>Planta Dos Procesos Biológicos Tipo Modular</b>	<b>Sistema Coreano</b>
<b>Tiempo de recuperación (años)</b>	10.9	23.4	mayor a 100

**Conclusión:**

En las plantas dos procesos biológicos tipo modular y sistema coreano, como el tiempo de recuperación de la inversión es mayor que la vida útil esperada, la planta no debe comprarse, puesto que no hay suficiente tiempo para recuperar la inversión.

En la planta dos procesos biológicos tipo paquete el periodo de recuperación de la inversión  $n'$  es menor que el tiempo a utilizar la planta (20 años), por lo tanto, esta alternativa es la conveniente.

**ENFOQUE DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

Puesto que el punto de referencia es el futuro, las estimaciones que se emplean posiblemente pueden estar equivocadas. El análisis de sensibilidad es un estudio para ver de qué manera se alterará la decisión económica si varían ciertos factores.

Con este objeto, y como una forma especial de incorporar el valor del factor riesgo a los resultados pronosticados del proyecto, se puede desarrollar un análisis de sensibilidad que permita medir cuán sensible es la evaluación realizada a variaciones en uno o más parámetros decisivos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Generalmente, las variaciones en los valores de costos son resultado de variaciones en la inflación.

Si las condiciones económicas cambian drásticamente con el tiempo, es probable que la rentabilidad pronosticada también pueda cambiar, por eso se toma en cuenta el valor en CETES dado por el gobierno.

Pronóstico en la tasa de inflación: no cambia por ser tomado como pronóstico del gobierno.

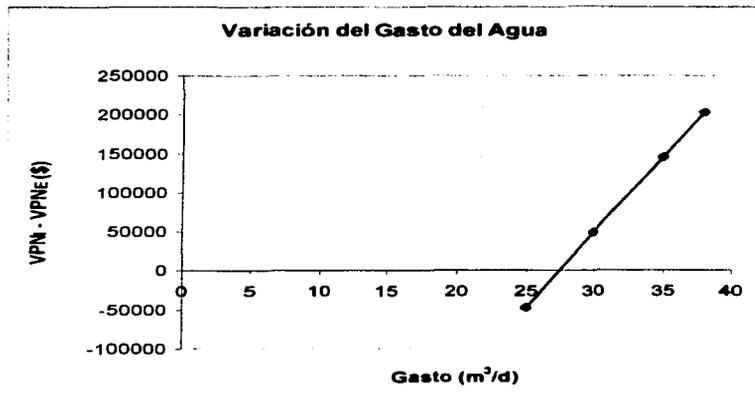
Costo del agua/m<sup>3</sup>: por tener un ahorro en el costo real del agua (subsidio), el costo únicamente puede aumentar y los ingresos aumentarán.

#### Variación en el gasto de agua por día

El valor que puede variar en nuestro estudio es el del volumen de agua consumido por día, el gasto de agua es de 38 m<sup>3</sup>/día.

Haciendo el análisis de sensibilidad:

Gasto (m <sup>3</sup> /día)	VPNI-VPNE (\$)
25	-47244.23
30	48973.62
35	145191.6
38	202922.17



### Conclusión:

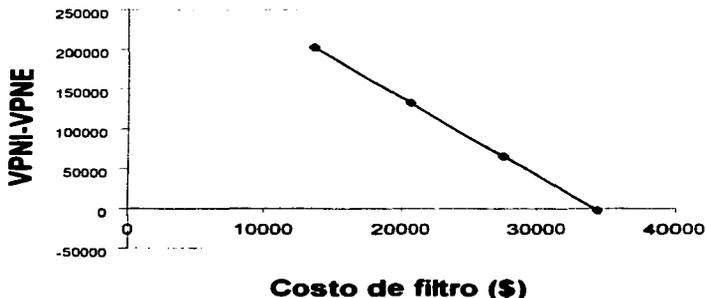
Con un gasto de 30 m<sup>3</sup>/día, el proyecto es viable incluso para una escuela con una población de alumnos menor a la propuesta.

### Variación en costo de mantenimiento de filtros de arena

Costo en cálculo: \$13,800.00

Filtro de arena (\$)	VPNI-VPNE (\$)
13800	202922.17
20700	133425.61
27600	65680.39
34500	- 2064.83

### Mantenimiento a filtros de arena



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Conclusión:**

Dentro de los costos de mantenimiento el valor de los filtros de arena es el mayor y es anual.

Sólo si el costo aumenta más del 250% del costo presente el proyecto seguirá siendo rentable.

### **III.4 Beneficios e impacto social**

México es un país sediento, ya que el 31% de nuestro territorio es de clima árido y el 36% es semiárido. Además la distribución de las aguas también es injusta: el norte del país, que representa el 30% de la superficie territorial recibe apenas el 3% de las lluvias totales, y en la mayor parte del país las precipitaciones caen en forma concentrada, entre mayo y octubre, agravando aún más las posibilidades de disponer de caudales suficientes y oportunos para las necesidades de la población, la agricultura y la industria.

A este panorama, hay que agregar que el 85% de los mantos acuíferos como lagos y ríos se encuentran a 500 m sobre el nivel del mar o más abajo, mientras que el 75% de la población vive en alturas mayores; esto exige el bombeo de grandes volúmenes de agua y la elaboración de costosas obras de conducción y almacenamiento, para cuya realización, cada vez es más difícil obtener recursos.

Si la geografía y el clima de México no han sido muy benignos para dotar de agua a sus habitantes, éstos tampoco han hecho lo suyo para aprovechar debidamente este valioso y cada vez más escaso recurso natural. Como referencia, el consumo diario por persona en ciudades europeas es de 200 l gracias a un manejo eficiente del recurso, en México el consumo promedio nacional es de 300 l.

Por lo tanto, la instalación de una planta de tratamiento en escuelas secundarias de la Secretaría de Educación Pública (SEP) es necesaria, para coadyuvar a disminuir este problema.

#### **III.4.1 Disminución de los costos por consumo de agua**

No se cobra a las instituciones educativas, de acuerdo con el Artículo 224, fracción IV, de la Ley Federal de Derechos, pero de cobrarse, el abastecimiento de agua potable de la delegación Iztapalapa tendría un ahorro de unos 36 m<sup>3</sup> de agua al día por escuela, que representarían un ahorro, lo cual beneficiaría a la delegación, ya que existen dificultades para el abastecimiento de agua en esta zona.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **III.4.2 Impacto en los usuarios de la escuela**

En la actualidad, se habla mucho de inducir en la población una cultura que permita el manejo adecuado de los recursos naturales y el cuidado del ambiente, sin embargo, la implantación de un programa que propicie esto no ha sido estructurado apropiadamente, ya que no se muestra con ejemplos lo vulnerable que pueden ser los diferentes recursos naturales y los métodos y costos requeridos para su cuidado, además, las campañas para el cuidado del agua han sido esporádicas y no han logrado tal objetivo a gran escala.

Colocar plantas de tratamiento en instituciones de formación educativa es una propuesta que parece muy apropiada, en primer lugar porque se propiciaría el interés por tales acciones en los estudiantes, y serviría de ejemplo para que tomen conciencia de lo costoso que resulta el cuidado de este recurso y las posibilidades que existen para lograrlo y alternativas que permitan reutilizar el agua. Si se logra hacer conciencia en la población escolar, se podrá cobrar el precio justo por los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales en las localidades.

En segundo lugar, esto permitirá estructurar un programa particularizado (de acuerdo con las condiciones existentes de la zona donde se encuentre la escuela beneficiada), que propicie el cambio en el comportamiento de los estudiantes hacia el manejo y cuidado del agua y a su vez, en las familias de éstos.

Seguramente se verán resultados en beneficio del recurso, aunque sea a mediano o largo plazo, pero con un buen programa particularizado integrado en el programa educativo acelerará el beneficio buscado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPÍTULO IV RESULTADOS

### Conclusiones y recomendaciones

El cuidado del medio ambiente ha sido una preocupación que inició en la década de los años 70's, fortaleciéndose este interés en la actualidad; en cuanto al agua, han existido foros internacionales donde se ha analizado su problemática (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, Mar del Plata, Argentina 1977; Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, en Dublín, Irlanda 1992; Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, en Río de Janeiro, 1992; Conferencia Internacional sobre el Agua y Desarrollo Sustentable, en París Francia, 1998; y más recientemente en el foro Agua para las Américas en el Siglo XXI, en la ciudad de México, 2002; entre otros); el creciente interés en el cuidado del agua en nuestro país es cada día más importante, la prueba está en que, desde el sexenio pasado, se creó la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, ahora Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, además de que en 1992 se elabora la primer Ley de Aguas Nacionales, con el propósito de regular su explotación, uso o aprovechamiento, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad.

Se ha destacado en estos foros la importancia que tiene el agua como un factor de desarrollo económico y social, además de que en el foro reciente del Agua para las Américas en el Siglo XXI, realizado en la Ciudad de México, se mencionó que el abastecimiento de agua va de la mano con el nivel de pobreza, esto es, que el proveer agua a comunidades pobres, coadyuva inmediatamente a mejorar su nivel de vida.

En este sexenio, México ha manejado la idea de que el agua es un factor de seguridad nacional, refiriéndose a que las comunidades estén conformes con las condiciones hidricas de su hábitat y existan las condiciones necesarias para el desarrollo de los medios de producción que den empleo a la población; sin agua no hay desarrollo.

Por lo anterior, la importancia de proponer la instalación de plantas de tratamiento en las instituciones educativas del país se fundamenta en dos objetivos: el del cuidado del agua en las zonas críticas y el de la penetración educativa, desde las mismas escuelas del país.

El tratamiento de las aguas residuales a pesar de ser una necesidad indispensable para el cuidado y preservación del agua, en nuestro país es un tema incipiente, por lo que es necesario fortalecer su aplicación en todo el territorio nacional, y qué mejor que en los centros de enseñanza. El tratamiento de las aguas residuales permite el reúso de la misma y con esto aumentar la disponibilidad en las diferentes cuencas del país. Por desgracia, en nuestro país se han tenido malas experiencias, ya que se hacen grandes inversiones, sin lograr los resultados esperados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por otro lado, se han hecho varios intentos de incidir en la población una cultura que permita el cuidado del agua en los diferentes usos, sin lograr un impacto trascendental, se ha pensado que si se hace este programa educativo desde las mismas escuelas, se logrará un mejor resultado que en cualquiera de los intentos anteriores.

En este proyecto, se ha hecho un gran esfuerzo en el estudio y análisis de los diferentes procesos de tratamiento que existen en el país, logrando identificar aquellos que son los apropiados para el tratamiento de aguas residuales típicas de una escuela secundaria, que resultan muy similares a las de descargas de aguas de uso doméstico. Esto fue una tarea que implicó muchas horas de investigación y análisis pero que era necesario, dado que existen diferentes factores de descarga que establecen el requerimiento del proceso de tratamiento, los seleccionados aquí, son procesos biológicos muy apropiados para el tratamiento de descargas de tipo municipal y por lo tanto al de una escuela.

La propuesta que aquí se ha manejado, implica un proyecto de propiedad pública, con múltiples propósitos, donde se propone la instalación de un proceso de tratamiento en una escuela secundaria de la delegación Iztapalapa, una de las zonas críticas de la ciudad de México en el abastecimiento de agua, para lo cual se han seleccionado tres sistemas factibles (sistemas de tratamiento en paquete de dos procesos biológicos, el mismo sistema en módulos y un sistema coreano tipo paquete), todos estos sistemas cerrados, cuidando la seguridad de los usuarios de la institución educativa, evitando molestias por olores desagradables y el que generara menor cantidad de lodos en el proceso. Además, es importante mencionar que se buscó que en estos sistemas de tratamiento no fuera necesario contar con expertos para la operación de los mismos; se ha hecho una evaluación económica, con el propósito de seleccionar de éstos, aquél sistema que requiera la menor inversión no sólo inicial, sino también durante la operación y mantenimiento dentro de su vida útil, que en las tres opciones fue de 20 años.

Dado que en zonas críticas de disponibilidad del agua se encarece el abastecimiento; como en la ciudad de México, donde se tiene que importar agua de otras cuencas para satisfacer la demanda existente, este proyecto ayudará a mitigar la problemática, brindando la oportunidad del reúso de aguas residuales y por lo tanto aminorar los requerimientos.

Los servicios de agua potable, en la mayoría del territorio nacional, están subsidiados ya que con las tarifas que se manejan no se alcanza a cubrir los costos de operación y mantenimiento en el abastecimiento de agua y menos aún para el tratamiento de las aguas residuales recolectadas en los sistemas de alcantarillado municipales.

Como en todo proyecto de propiedad pública, se dificultó cuantificar el impacto de los beneficios de éste, por lo que se asignó el costo más alto por el abastecimiento de agua, establecido en la Ley Federal de Derechos (Artículo 222 y 223), a pesar de que en la misma Ley se exime del pago a las instituciones educativas (Artículo 224-IV), se estableció la tarifa de catorce pesos por metro cúbico de agua, con el propósito de darle un valor económico a los beneficios que se obtendrían, sin embargo, los costos reales por el abastecimiento de agua en la delegación Iztapalapa son superiores a esta cantidad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tomando en cuenta la tarifa antes mencionada, se procedió a evaluar los proyectos por el método de valor presente, dando como resultado que ni en el sistema coreano ni en el sistema de dos procesos biológicos tipo modular, se recupera la inversión, sólo en el de dos procesos biológicos tipo paquete se recupera la inversión en menos de once años y, dado que éste es un proyecto de tipo no lucrativo, se vuelve atractivo por este simple hecho, ya que su financiamiento puede buscarse a través de las mismas instancias de gobierno local, ya que implica un ahorro de más de nueve años en el costo por el abastecimiento de agua a la institución educativa; esto es más de 45,000 m<sup>3</sup> que representa el abastecimiento a más de 124 familias en un año.

Como en todo proyecto, también existen desventajas, entre las que destacan la disminución de espacio recreativo, ya que se utiliza parte del patio de la escuela para la instalación de la planta y existe la posibilidad del mal manejo y disposición de lodos altamente contaminantes generados en el proceso; además de aumentar la responsabilidad del director del plantel. Pero como se puede observar, son mucho mayores los beneficios que fundamentan el desarrollo de este proyecto; sólo el hecho de lograr una mejor actitud de la población sobre el manejo y cuidado de los recursos sería suficiente razón para llevarlo a cabo, ya que como se mencionó se buscó la de menor inversión inicial además de ser la de menor Valor Presente Neto (VPN) y la que presenta mejor razón costo beneficio (superior a la unidad).

El hecho de que en su operación no se requiere de un experto, es un factor más que permite dar la oportunidad de mayores ingresos y desarrollo de capacidades al personal de conserjería de la misma institución, ya que con una pequeña capacitación, se podría aprovechar a éste, logrando optimizar los recursos de la misma institución, sobre todo en lo correspondiente al manejo y disposición de lodos.

Los cálculos arrojaron que la recuperación de la inversión de la planta de tratamiento tipo paquete de dos procesos biológicos se daría en **10.95** años, menor a la vida útil de la planta, que en todos los casos como ya se citó, es de 20 años, mientras que en las otras dos jamás se recuperaría. Si tomamos en cuenta que la mayoría de las inversiones del estado son a fondo perdido, en este caso existe un beneficio real que permite el financiamiento del proyecto; si además agregamos la posibilidad que existe de obtener recursos de la banca internacional de desarrollo, se vuelve mucho más atractivo el proyecto, tomando en cuenta los beneficios que se lograrían.

Por último, se efectuó un análisis de sensibilidad para la disminución del número de alumnos y por lo tanto del gasto generado, permitiendo hasta una disminución del 22%, y el aumento del costo de los **filtros de arena y carbón activado que deben reemplazarse cada año** siendo su costo actual de \$13,800, pudiendo aumentar hasta un 250%. Con estas dos variaciones máximas (una u otra), el proyecto todavía es rentable, lográndose recuperar la inversión dentro de su vida útil. Los demás factores (costo del agua, aumento en el costo de mantenimiento y aumento de la inflación) no se consideraron, dado que el costo del agua se considera subsidiado y lo más seguro es que aumente beneficiando más al proyecto. Los mantenimientos se consideraron poco importantes, ya que van de la mano de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

la inflación (6% actualmente), que están por debajo de la tasa empleada para el cálculo de la evaluación (8%), además de que la tasa interna de retorno calculada para este proyecto fue de 16%.

Como una de las desventajas que se mencionaron, existe la posibilidad del mal manejo y disposición de los lodos generados en el proceso de tratamiento, indicados en la parte de descripción de los procesos existentes; éste es un factor que no se puede evitar, ya que todo proceso de tipo biológico sin excepción los genera, por lo que tarde o temprano se tendrá que extraer el exceso de producción del sistema, sin embargo los tres procesos seleccionados, son los de menor producción de lodos.

Dado que es inevitable este hecho, la disposición de lodos se vuelve un problema muy importante, ya que en algunos casos cuando no están estabilizados, se podría contaminar aún más que si no se tratara el agua residual, ya que concentra una gran cantidad de bacterias, las cuales pueden ocasionar grandes daños al medio ecológico de la zona. Por lo tanto, los lodos generados deben manejarse con mucho cuidado y se les debe dar un tratamiento posterior para su adecuada disposición; sin embargo, los tres procesos de tratamiento seleccionados son los que ofrecen las mejores condiciones de generación de lodos.

Los lodos deben estar estabilizados antes de ser dispuestos, esto se logra directamente en cualquiera de las tres plantas de tratamiento: el tipo de lodo generado en estos casos es rico en fósforo y nitrógeno, lo que facilita su disposición final: se recomienda mezclar cal hasta lograr un pH mayor de 11, y sólo entonces hacer su disposición en el sistema de recolección de basura, ya que la extracción de lodos se deberá hacer sólo cada año y medio, de acuerdo a las especificaciones de las dos plantas tipo paquete de dos procesos biológicos.

Con el gas metano, es tan poco que colocando un "mechero" se soluciona el problema.

Se recomienda llevar a cabo este proyecto en una escuela piloto dentro de la delegación Iztapalapa, con el propósito de evaluar las metas que se han presentado y en su caso, hacer las correcciones necesarias para su mejor cumplimiento. Además se sugiere verificar físicamente el funcionamiento de la planta de tratamiento, antes de instalarla en la escuela piloto, comprobando que se cumplan los alcances establecidos en las especificaciones del equipo.

Adicionalmente, para cumplir con el objetivo de lograr una cultura en el cuidado del medio ambiente, es importante diseñar un programa de educación para este fin particularizado para esta escuela piloto, aprovechando la instalación de la planta de tratamiento propuesta, y hacer en unos dos años una evaluación del impacto en los alumnos de la institución y su repercusión en las familias correspondientes.

Por último, este esfuerzo que se ha hecho no debe quedar en el aire, se deben buscar los medios necesarios para llevarlo a cabo y de cumplir con los objetivos planteados en la escuela piloto, impulsar esta idea a nivel nacional.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## GLOSARIO

**ABIÓTICO:** Sin vida.

**ABSORCIÓN:** Incorporación de una sustancia a otra.

**ACUEDUCTO:** Arcada que soporta un canal o una tubería de abastecimiento de agua.

**ACUÍFERO:** Formación geológica subterránea que contenga agua.

**AEROBIAS:** Seres microscópicos que necesitan de oxígeno para vivir.

**AFORAR:** Medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.

**AGUA NATURAL:** Como se presenta en la naturaleza.

**AGUAS NEGRAS SANITARIAS:** Aguas negras que contienen excrementos humanos.

**AGUAS NEGRAS SÉPTICAS:** Aguas negras que han sufrido proceso de putrefacción en condiciones anaerobias.

**AGUAS NEGRAS:** Son la combinación de los líquidos o desechos acarreados por aguas provenientes de zonas residenciales, comerciales, escolares e industriales, pudiendo contener aguas de origen pluvial, superficial o del suelo.

**AGUAS RESIDUALES:** Las procedentes de desagües domésticos e industriales.

**AGUAS SERVIDAS:** Principalmente las provenientes del abastecimiento de aguas de una población después de haber sido utilizadas en diversos usos.

**AGUAS SUBTERRÁNEAS O DE FILTRACIÓN:** Son las que han llegado a la conducción a través del terreno.

**AGUAS TERMALES:** Las que brotan del suelo a temperaturas elevadas.

**AIREAR:** Poner en contacto con el aire.

**ALBAÑAL:** Canal o conducto de desagüe de aguas sucias de una instalación particular a la red municipal.

**ALBAÑAL:** Conducto cerrado con diámetro y pendientes necesarios, que se construyen en los edificios de todos tipos para dar salida a las aguas negras y jabonosas (aguas residuales).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ALCANTARILLADO:** Red de tuberías e instalaciones complementarias que tienen la función de recolectar y alejar las aguas servidas de las poblaciones provistas de servicio intra domiciliario de agua. Sistema formado por obras accesorias, tuberías o conductos generalmente cerrados que no trabajen a presión y que conducen aguas negras y pluviales u otro desecho líquido ( aguas servidas: Aguas Negras ).

**ANAEROBIAS:** Seres microscópicos que no necesitan para vivir del oxígeno del aire, lo toman del medio que los rodea.

**ATARJEA, Cañería:** Conducto cerrado que lleva las aguas al sumidero. Conducto cerrado que se coloca enterrado a lo largo de las calles, destinado primordialmente al alojamiento de las aguas negras. Caja de ladrillo con que se reviste una cañería, conducto de agua para riego y otros usos.

**BACTERIAS:** Pequeñísimos organismos vivos, formados por una sola célula, generalmente no tienen color, se reproducen por división y no requieren luz para su proceso vital.

**BROCAL:** Antepechos que rodean las bocas de los pozos.

**CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA:** es la cantidad de materia orgánica aplicada por metro cúbico y por unidad de tiempo.

**CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA:** es la cantidad de materia orgánica aplicada por metro cúbico y por unidad de tiempo. Se calcula dividiendo la DBO o la DQO entre el gasto.

**CISTERNA:** Deposito artificial cubierto, destinado para recolectar agua.

**CLOACA:** Alcantarilla o sumidero para las aguas inmundas de una población o de una ciudad.

**COAGULACIÓN:** Acción de juntar partículas que se encuentran en la solución, agregándole una sustancia adecuada que permita la formación de coloides para su eliminación posterior. 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

**COLECTOR:** Cañería general de un alcantarillado.

**CÓLERA:** Enfermedad infecciosa muy grave, caracterizada por vómitos, diarrea, etc.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**COLOIDES:** Partículas menores a dos micras de diámetro (2 milésimas de milímetro), sólidos finamente divididos que no pueden asentarse o eliminarse sino por coagulación o acción bioquímica.

**COMPUESTO:** Sustancia formada por dos o más elementos diferentes que han entrado en combinación química, por ejemplo el cloruro de sodio (sal común).

**CONCENTRACIÓN:** Medida de la cantidad de sustancias disueltas en un líquido.

**CONTAMINACIÓN:** Introducción dentro del agua de organismos potencialmente patógenos o sustancias tóxicas que la hacen inadecuada para tomar.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO):** se define como la cantidad de oxígeno aproximada que será consumida por los microorganismos en la oxidación biológica de la materia orgánica.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DÍA 5: (DBO<sub>5</sub>):** cantidad de oxígeno consumido por la actividad metabólica de microorganismos en un periodo de cinco días a 20°C, considerando la suma de las concentraciones solubles y en suspensión. En el diseño de las plantas de tratamiento, la DBO es uno de los parámetros básicos en la selección y dimensionamiento de las unidades.

**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 DBO del agua residual doméstica es normalmente mayor que la DBO<sub>5</sub>.

**DEPÓSITOS DE CAPTACIÓN:** Cámaras colectoras cerradas e impermeables, construidas de concreto reforzado, de mampostería o de tabique.

**DESINFECCIÓN:** Es la eliminación de la mayor parte de las bacterias por medio de sustancias químicas ( cloro ), calor, luz ultravioleta, ozonación, etc.

**DILUIR:** Agregar más solvente a un líquido para disminuir su concentración.

**DREN:** Drenaje.

**DUREZA:** Expresión que indica que en el agua están contenidos compuestos de calcio y magnesio, causantes de consumos elevados de jabón.

**ECOLOGÍA:** Tratado o estudio del medio en que se vive.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**EFLUENTE:** Aguas negras o cualquier otro líquido en su estado natural o tratados parcial o totalmente, que salen de un tanque de almacenamiento, depósito o planta de tratamiento.

**ELECTROCOAGULACIÓN:** Hacer uso de la electricidad para la generación de aniones que después son atraídos por las partículas en suspensión.

**ELECTRÓLISIS:** Se denomina así al proceso químico por el cual se puede descomponer un elemento o una disolución haciendo pasar por ella una corriente eléctrica. Se denomina electrolito al sistema líquido conductor o a la sustancia disuelta, electrodos a los conductores metálicos en contacto con la disolución, ánodo al polo positivo de la fuente de corriente y cátodo al polo negativo.

**ELEMENTO:** Es una sustancia que no puede subdividirse en otras mas simples por medio de cambios químicos comunes, por ejemplo oxígeno, calcio.

**ENTARQUINAR:** Inundar un terreno, rellenándolo, o sanearlo por sedimentación para dedicarlo al cultivo.

**ESPORAS:** Son células-germen o células resistentes que forman ciertas bacterias cuando están en condiciones ambientales poco favorables.

**EXCREMENTO:** Materia que se arroja por las vías naturales.

**EXCREMENTO:** Sustancias expulsadas por el cuerpo, inútiles para el organismo y cuya retención sería perjudicial.

**EXCRETAR:** Despedir el excremento.

**F/M:** relación de alimento-microorganismos.

**Factor de carga (F/M):** es la relación que existe entre la cantidad de alimento (F) y la cantidad de microorganismos (M) en el tanque de aereación.

**FILTRACIÓN:** Proceso que consiste en pasar un líquido a través de un medio filtrante con el propósito de eliminar la materia suspendida o coloidal.

**FLÓCULOS:** Pequeñas masas o grumos gelatinosos, formados en un líquido por la acción de coagulantes.

**FLOTACIÓN:** Separación de partículas en suspensión o de aceite y grasa en solución haciéndolos ascender natural o artificialmente a la superficie, generalmente con aire.

**FOSA SÉPTICA:** Pozo que recibe el excremento y lo descompone, convirtiéndolo en agua y gases por un procedimiento biológico.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**FUERZA DE GRAVEDAD:** Atracción que sufren los cuerpos, de acuerdo a su peso, hacia la tierra.

**GASTO DE PURGA (Qp):** cantidad de licor mezclado que se desecha del sistema.

**GASTO O FLUJO:** Término que nos indica un volumen de agua por unidad de tiempo (l.p.m., l.p.s., m<sup>3</sup>/seg.).

**GOLPE DE ARIETE:** El golpe de ariete es provocado por el paro súbito de un fluido: Se genera al frenar en forma súbita el paso de un fluido, la energía dinámica se convierte en energía de presión.

**GRUMO:** Parte de un líquido que se coagula.

**INCRUSTACIONES:** Depósitos causados por sales, principalmente carbonato de calcio y magnesio.

**INFLUENTE:** Aguas negras o cualquier otro líquido en forma natural hacia un tanque o depósito o planta de tratamiento.

**JAGUEY O ALJIBE:** Depósito descubierto, natural o artificial que almacena agua de lluvia, de dimensiones más reducidas que un lago.

**NORIA O POZO EXCAVADO:** Hoyo a cielo abierto, sin el empleo de maquinaria especial y que capta aguas poco profundas.

**PARTES POR MILLÓN:** p.p.m. Miligramos de alguna sustancia con relación a un litro de agua (mg/l).

**PATÓGENOS:** Elementos y medios que originan y desarrollan enfermedades.

**PIEZOMÉTRICO:** Relativo a cargas de presión en el funcionamiento hidráulico de tubería.

**POLUCIÓN:** En el agua cuando se mezclan en ella aguas servidas, líquidos, suspensiones y otras substancias en cantidad tal, que alteren su calidad volviéndola ofensiva a la vista, gusto y olfato.

**POTABILIZACIÓN:** Serie de procesos para hacer el agua apta para bebida.

**POZO DE CAÍDA:** Pozo que se hace con el objeto de aligerar la presión y anular la velocidad que lleva el agua en el drenaje.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**POZO DE VISITA:** Construcción troncocónica que permite la entrada de un hombre y los implementos necesarios para efectuar inspecciones y reparaciones. Sirve para tener acceso al drenaje y poder limpiarlo y desazolvarlo para su buen funcionamiento.

**POZO NEGRO:** Hoyo en que se recogen las inmundicias en los lugares en donde no existe alcantarillado.

**PRESIÓN NEGATIVA:** Cuando se tiene una presión menor que la atmosférica.

**PRESIÓN:** Es la carga o fuerza total que actúa sobre una superficie. En hidráulica expresa la intensidad de fuerza por unidad de superficie ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $\text{lb}/\text{pulg}^2$ , etc.).

**REACTIVOS:** Compuestos químicos (ácido sulfúrico, hexametáfosfato, etc.).

**RETRETE:** Instalación para orinar y evacuar el vientre.

**SEDIMENTACIÓN:** Proceso de asentamiento y depósito de la materia suspendida por medio de la fuerza de gravedad.

**SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE:** conjunto de obras de caracteres diferentes, que tienen por objeto proporcionar agua a un núcleo o población determinada.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL LICOR MEZCLADO (SSVLM):** es una medida indirecta de la cantidad de microorganismos o biomasa existente, en un momento dado, en el tanque de aereación. Se determina en el laboratorio.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL LICOR MEZCLADO (SSVLM):** es una medida indirecta de la cantidad de microorganismos o biomasa existente, en un momento dado, en el tanque de aereación, se determina en el laboratorio ( $\text{mg}/\text{l}$ ).

**SSVLMa:** concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado actual o existente en ese momento en el tanque.

**SSVLMd:** concentración de sólidos suspendidos volátiles calculada en el primer paso.

**SSVr:** concentración de sólidos suspendidos volátiles en la recirculación.

**TASA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS (r):** indica el porcentaje del gasto de entrada que es retornado al tanque de aereación.

**TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (Trh):** se obtiene dividiendo el volumen del tanque entre el gasto de entrada, y es el tiempo que el agua permanecerá en el tanque.

**TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN CELULAR (TMRC):** es el tiempo promedio de días, que un microorganismo permanece en el proceso de tratamiento.

**TMRC:** tiempo medio de retención celular, es el tiempo promedio de días, que un microorganismo permanece en el proceso de tratamiento.

**TURBIEDAD:** Condición del agua o de las aguas residuales causada por la presencia de materia en suspensión que produce la dispersión y absorción de la luz.

**ZEOLITAS:** Compuestos químicos, naturales o artificiales, que fácilmente cambian su composición de acuerdo con la concentración de sustancias químicas en solución con las que están en contacto (se usan en procesos de ablandamiento de agua).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## BIBLIOGRAFÍA

- Baca Urbina, Gabriel. (2001), Evaluación de Proyectos, Ed. McGraw-Hill.
- Becerril L., Diego Onésimo, Datos Prácticos de Instalaciones Hidráulicas Sanitarias, Séptima Edición.
- Benefield L. D. y Randall C.W., (1980), Biological Process Design for Wastewater Treatment, Ed. Prentice-Hall Inc.
- Leland, Blank y Tarquin Anthony., (1999), Ingeniería Económica, Ed. Mc Graw-Hill.
- C.A.P.F.C.E., Manual de construcción de escuelas secundarias técnicas de la S.E.P.
- Crigg N. S., (1986), Urban Water Infraestructure: Planning, Management and Operations, Ed. Wiley and Sons Inc.
- DeGarmo, E. Paul, Sullivan, William G., Bontadelli, James A. y Wicks, Elin M., (1998), Ingeniería Económica, Ed. McGraw-Hill.
- 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, U.N.A.M.
- Environmental Protection Agency, (1980), Treatability Manual, Vol. IV: Cost Estimating, EPA-600/8-80-042D.
- Escalante T. Claudio, (1987), Aguas Residuales y Plantas de Tratamiento, Servicios Interdisciplinarios de Consultoría y Tecnología S.C., México.
- Flin, Alfred Douglas, Plantas de Tratamiento, Ed. McGraw-Hill, Tercera Edición.
- Flores D., (1992), Ingeniería Ambiental, No. 17, SMISAAC.
- Fuad A. y AIDI D., (1991), Control de la contaminación del agua en México, Información Científica y Tecnología, Vol. 13 No. 173, CONACYT.
- 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.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Lama G. M., (1988), Alternativas para el Reúso del Agua en México: Encuentro de Expertos en Urbanismo. Cuadernos de Extensión Académica, No. 44, U.N.A.M., México.

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

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.

Schulz C.R. y Okun DA., (1990), Tratamiento de Aguas Superficiales para Países en Desarrollo, Ed. Limusa.

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

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

#### PÁGINAS DE INTERNET

ACUAMEX

[acuamex@df1.telmex.net.mx](mailto:acuamex@df1.telmex.net.mx)

CASSETAS MABASA

[mabasa@hotmail.com.mx](mailto:mabasa@hotmail.com.mx)

EUREKA

[www.eureka.etex.com.mx](http://www.eureka.etex.com.mx)

GRUPO IMPEL

[www.impel.com.mx](http://www.impel.com.mx)

HIDROCONTROL

<http://www.hidrocontrol.com>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PRITASA  
PROYECTOS INTEGRALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA, S.A. DE C.V.  
[pritasa@prodigv.net.mx](mailto:pritasa@prodigv.net.mx)  
[www.pritasa.com.mx](http://www.pritasa.com.mx)

SISTEMA INDUSTRIAL COREANO DE MÉXICO, S.A. DE C.V.  
[sitemcor@mexis.com](mailto:sitemcor@mexis.com)

INGENIERÍA MECÁNICA Y DE LA TRANSFORMACIÓN, S.A. DE C.V.  
[imetran@hotmail.com](mailto:imetran@hotmail.com)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN