

14
20



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DEL INTERCEPTOR PONIENTE DE LA CIUDAD DE MEXICO BAJO LOS SISTEMAS SBR Y CONTINUO POR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :

ELIHUT RAMIREZ ARREORTUA
FERNANDO MARQUEZ PLIEGO

DIRECTOR DE TESIS:
I.Q. MARGARITA ALONSO ESPINOZA

CUAUTITLAN, IZCALLI, EDO. DE MEXICO,

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

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

Tratamiento del Agua Residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México Bajo los Sistemas SBR y Continuo por el Proceso de Lodos Activados.

que presenta el pasante: Fernando Márquez Pliego
con número de cuenta: 8653019-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico ; en colaboración con :
Elihut Ramírez Arreortúa

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautilán Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de Enero de 1961

PRESIDENTE O. Rosa Margarita Gómez Molino
VOCAL O. Bertha Rodríguez Samano
SECRETARIO I.O. Margarita Alonso Espinoza
PRIMER SUPLENTE O. Rafael García Barrera
SEGUNDO SUPLENTE I.O.I. Carmen Arriaga Orihuela

[Handwritten signatures and stamps over the list of names]



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT: N. ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
Tratamiento del Agua Residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México Bajo los Sistemas SBR y Continuo por el Proceso de Lodos Activados.

que presenta el pasante: Elihut Ramírez Arreortúa
con número de cuenta: 8308074-8 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico ; en colaboración con :
Fernando Márquez Pliego

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de Enero de 1994

PRESIDENTE	<u>O. Rosa Margarita Gómez Moline</u>	
VOCAL	<u>O. Bertha Rodríguez Samano</u>	
SECRETARIO	<u>I.O. Margarita Alonso Espinoza</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>O. Rafael García Barrera</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.O.I. Carmen Arriaga Orihuela</u>	

Como un sencillo homenaje y una prueba de agradecimiento a la memoria de mi padre, por sus consejos y apoyo que me permitieron lograr mi formación profesional.

Con eterna gratitud y cariño a mi madre, por su apoyo brindado en todo momento de mi vida.

Por un recuerdo inolvidable a la memoria de mi abuelita, por su cariño y enseñanzas en mis primeros estudios.

Por su cariño y comprensión a mis hermanos Francisco, Alberto, Valente, María, Silvia, Irma, Rocío y Erika.

Con todo mi amor y admiración a Elizabeth por haberme alentado para terminar este trabajo de tesis.

A Elihut por su ayuda y apoyo para lograr la realización del proyecto.

A mis compañeros y amigos, por su amistad brindada en cada etapa de mi preparación.

Fernando

Gracias a Dios

Con todo cariño, respeto y admiración
para dos personas extraordinarias:
... mis padres.

Hilda Arreortúa de Ramírez
German Ramírez Santiago.

Gracias, por haberme dado la vida,
cariño y consejos, además por enseñarme
ese inquebrantable espíritu de lucha,
el cual infundió siempre en mí la
inquietud de superación.

A mi hermano:
German Ramírez Arreortua, con el inmenso
cariño y anhelo de que sigas adelante.

A mis tíos por su apoyo y estímulo.

A mis amigos:
Alfredo, Alberto, Antonio, Inocencia,
Bertha, Lilia y Lety. Por su amistad.

Elihut

AGRADECIMIENTOS

Con profundo respeto a nuestros profesores, porque fué tan valioso el que nos enseñó las primeras letras como el que nos impartió sus conocimientos en la última asignatura.

En forma especial a nuestra Asesora de Tesis:

I.Q. Margarita Alonso Espinoza

Por sus sabios consejos y conocimientos para la realización de este trabajo.

A nuestros Sinodales, por el tiempo dedicado a la revisión de este proyecto y sus conocimientos aportados

A Asesores en Control Ambiental Integral S.A. de C.V., por las facilidades proporcionadas para la realización de este trabajo.

A la U.N.A.M. y a la F.E.S. - Cuautitlán, por habernos formado profesionalmente

INDICE

- 1.0 INTRODUCCION.
- 2.0 OBJETIVOS.
- 3.0 RECURSOS HIDROLOGICOS Y DISTRIBUCION.
 - 3.1 Contaminación del agua en México.
- 4.0 ANTECEDENTES.
 - 4.1 Características de la cuenca del Valle de México.
 - 4.2 Generación y Disposición de las aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).
 - 4.3 Tratamiento y reuso.
- 5.0 CONCEPTOS GENERALES.
 - 5.1 Leyes y reglamentos.
- 6.0 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
 - 6.1 Tratamiento primario.
 - 6.2 Tratamiento biológico.
 - 6.2.1 Proceso de lodos activados.
- 7.0 SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
 - 7.1 Proceso Convencional.
 - 7.2 Completamente Mezclado.
 - 7.3 Aeración Graduada.
 - 7.4 Aeración Escalonada.
 - 7.5 Estabilización por Contacto.
 - 7.6 Aeración Extendida.

- 7.7 Zanjas de Oxidación.
- 7.8 Aeración con Oxígeno Puro.
- 7.9 Lagunas de Aeración.
- 7.10 Biodiscos.
- 7.11 Filtros por Goteo.
- 8.0 SISTEMA SBR.
 - 8.1 Perspectiva Historica.
 - 8.2 Descripción del Sistema.
 - 8.3 Comparación de los Sistemas Continuo y SBR.
- 9.0 PARTE EXPERIMENTAL.
 - 9.1 Diseño y Construcción del Sistema Experimental.
 - 9.1.1 Sistema SBR.
 - 9.1.2 Sistema Continuo.
 - 9.2 Diseño Experimental.
 - 9.2.1 Sistema SBR.
 - 9.2.2 Sistema Continuo.
 - 9.3 Resultados.
 - 9.4 Análisis de Resultados.
- 10.0 CONCLUSIONES.
- 11.0 APENDICE A.
 - 11.1 Tablas de resultados.
 - 11.2 Glosario de términos.
- 12.0 BIBLIOGRAFIA.

1. INTRODUCCION.

Toda forma de vida se encuentra circunscrita con el agua, debido a que el agua constituye entre el 70 y el 90 % de la mayoría de los organismos, es por eso que representa el medio ideal para que se realicen la mayor parte de las reacciones de los seres vivos^(1,2) y además permite la continuidad entre las diversas fases de un organismo al actuar como disolvente o medio de dispersión. La importancia del agua radica en sus propiedades particulares que son: puntos de ebullición y fusión relativamente altos, elevado calor de evaporación y de fusión, alta capacidad calorífica y tensión superficial elevada. Las propiedades anteriores son producto de la polaridad de la molécula, debida a la electronegatividad de los átomos que la constituyen y que dan origen a la formación de los llamados puentes de hidrógeno.

Cada vez es mayor la demanda de agua que existe en el país y son pocas las fuentes de abastecimiento de este líquido vital, por lo que a nadie escapa la importancia creciente que representa la disponibilidad de agua para satisfacer su demanda en diferentes usos (industrial, agrícola, doméstico, etc.).

El aumento de la población y el desarrollo industrial han contribuido con la degradación del medio ambiente, especialmente en los ecosistemas cercanos a las industrias. La contaminación de los ríos y lagos, agudiza la situación

antes mencionada de tal forma que la disponibilidad y la contaminación de aguas tienen una interrelación muy estrecha.

Por lo que es necesario tomar conciencia del problema y buscar soluciones para que el agua que se desecha después de ser usada, sea tratada de tal forma que pueda volver a ser utilizada en las actividades que de acuerdo a su calidad así lo permitan.

Los contaminantes presentes en un agua residual pueden ser eliminados por métodos físicos, químicos y biológicos. Generalmente éstos se clasifican en forma individual como operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios.

Los métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de contaminantes por una oxidación biológica son conocidos como procesos biológicos unitarios.

El tratamiento biológico se usa básicamente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual. Estas sustancias se convierten en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que puede separarse por sedimentación. El tratamiento biológico se usa también para la eliminación del nitrógeno contenido en el agua residual. Con un control adecuado del medio, el agua residual puede tratarse biológicamente en la mayoría de los casos.

2.0 OBJETIVOS.

Considerando que el agua es un elemento primordial en la producción agrícola y tomando en cuenta los grandes volúmenes de agua que son desechados en la ciudad de México como aguas residuales, se impone la necesidad de buscar alternativas de control que permitan reutilizar una parte de estas aguas en aquellas actividades que de acuerdo a su calidad así lo permitan.

Es de vital importancia la obtención de un efluente de una calidad aceptable para el agua de reuso en la industria, con un color y un olor prácticamente nulos, así como la remoción al máximo de detergentes, pues estos pueden afectar grandemente a los procesos productivos, debe carecer de partículas en suspensión y poseer un pH neutro, además de otras características particulares sobre ciertos parámetros dependiendo del uso que se le de en la industria.

Los objetivos que se pretenden son los siguientes

General :

- Estudiar la problemática de la contaminación del agua en México.

Específicos:

- Realizar el análisis fisicoquímico y biológico (color, conductividad, DBO₅, DQO, pH, sedimentabilidad, SST, temperatura y turbiedad) al agua residual que conduce el Interceptor Poniente de la Ciudad de México en un punto estratégico de su cauce.
- Utilizar el sistema SBR y definir las condiciones óptimas de operación.
- Comparar los sistemas de tratamiento SBR y Continuo por el proceso de Lodos Activados.

3.0 RECURSOS HIDRAULICOS Y DISTRIBUCION DEL AGUA.

La cantidad de agua en la tierra se ha mantenido casi constante y en equilibrio dinámico entre los estados sólido, líquido y gaseoso, lo que se conoce como ciclo hidrológico, y lo forman el equilibrio entre la evaporación del agua, su precipitación en las diversas áreas del planeta y sus movimientos que tenga en la superficie; el suelo o el subsuelo.

Se estima que la cantidad de agua en la tierra es de aproximadamente $1386 \times 10^6 \text{ km}^3$, la cual se distribuye como se muestra en la tabla 1. En dicha tabla se observa que es mayor el agua de mar en relación al agua dulce. Por otro lado un alto porcentaje de agua dulce se encuentra ubicada en los casquetes polares. En la tabla 2, se observa la distribución que tiene el agua de acuerdo al ciclo hidrológico⁽³⁾.

Del total de agua sobre la tierra solamente $400,000 \text{ km}^3$ participan anualmente en el ciclo hidrológico, de la que el 83 % es marina y el 17 % es agua continental. Al precipitarse la cantidad de agua señalada, el 75 % lo hace en el océano y el 25 % sobre los continentes, distribuyendose en la superficie o en el subsuelo según lo indicado en la tabla 3.

Los datos de la cantidad de agua dulce total en el planeta y la cantidad que participa en el ciclo hidrológico

indican, que existen etapas en las que hay acumulación, por lo que se establece que el agua no es retenida el mismo tiempo en los diversos estados en los que se encuentra, tabla 4.

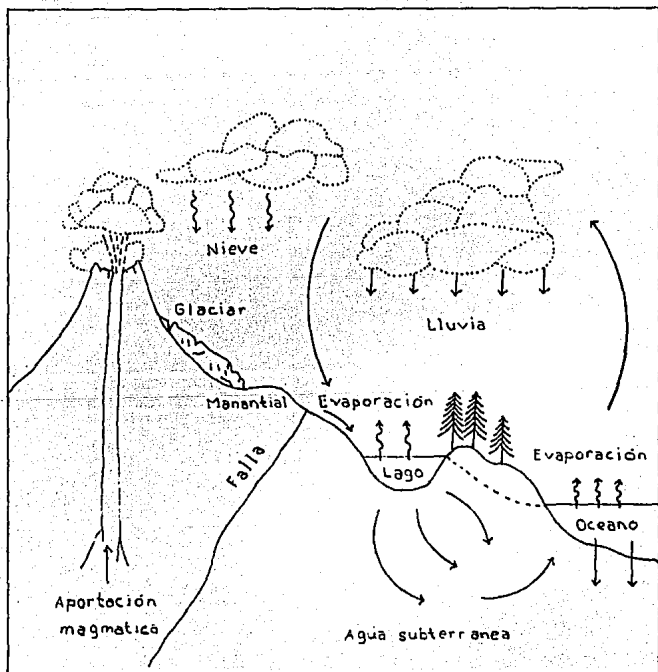


Fig. 1 Ciclo Hidrológico.

Tabla 1.
Distribución del agua en la tierra.

Tipo	%	m ³
Oceanica	93.7	1348 X 10 ¹⁵
Agua dulce	2.7	37 X 10 ¹⁵

Tabla 2
Distribución del agua en el ciclo hidrológico.

Etapa	%	Volumen m ³
Hielo glacial	75	2.7 X 10 ¹⁶
Agua subterránea	24	8.8 X 10 ¹⁶
Humedad del suelo	0.060	2.2 X 10 ¹⁴
Atmósfera	0.035	1.2 X 10 ¹⁴
Lagos	0.030	1.1 X 10 ¹⁴
Ríos	0.30	1.1 X 10 ¹⁴

Tabla 3
Distribución del agua sobre los continentes.

Sitio	%	Volumen anual km ³
Ríos, lagos, corrientes.	37	37,000
Infiltración mantos subterráneos	63	63,000

Tabla 4

Tiempo que permanece el agua en sus diversos estados en el ciclo hidrológico.

Fase	Mínimo	Tiempo promedio	Máximo
Vapor	1 hora	10 días	10 años
Líquido	horas	semanas	25,000 años (sub)
Hielo Polar	años	---	miles de años

La República Mexicana no es muy abundante en recursos hidráulicos, pues posee aproximadamente el 0.1 % del total anual de agua dulce en el mundo, lo que hace que un alto porcentaje del territorio esté catalogado como semidesértico, generando con ello una baja disponibilidad de agua debido fundamentalmente a razones climáticas, que es la primera característica del problema del agua en México.

La distribución del agua está fuertemente influenciada por las características de los sistemas montañosos; tal es el caso de México que contando con 200 millones de hectáreas, 64 % corresponden a zonas montañosas teniendo alturas superiores a los 500 metros sobre el nivel del mar y un 36 % a tierras llanas, sin embargo, posee una llanura costera que fluctúa entre 80 y 150 km² en el Golfo de México, y carece de ella en las costas del Pacífico⁽⁴⁾.

A nivel nacional la República Mexicana recibe anualmente un volumen de 1'570,000 millones de m³ de agua

que se precipita sobre el territorio nacional, de los cuales 1'120,000 millones de m³ retornan a la atmósfera por evaporación, 410,000 escurren superficialmente y 40,000 millones de m³ se infiltran en el subsuelo constituyendo la recarga de los acuíferos.

De los 410,000 millones de m³ que se escurren por los ríos y alimentan los embalses, se utilizan 146,000 y de los 40,000 que se alojan en el subsuelo, se emplean anualmente 28,000 para distintos abastecimientos, es decir, que la disponibilidad total de 450,000 millones de m³ de aguas superficiales y subterráneas, se aplican a diversos usos 174,000 y los 276,000 millones de m³ restantes, fluyen a través de cauces y alveolos hacia los lagos interiores o al mar, sin aprovechamiento.

De las aguas superficiales cuyo aprovechamiento anual suma 146,000 millones de m³, se utilizan para fines agropecuarios 48,100 millones de m³, que representan el 33% de la suma. Cerca del 2%, 2,612 millones de m³ se destinan al abastecimiento doméstico y público urbano. Otro 2%, aproximadamente 2,605, se dedica a usos industriales y la mayor parte del volumen, los restantes 92,683 millones de m³, se utilizan para la generación de energía hidroeléctrica.

Las dos terceras partes del volumen total aprovechado de agua del subsuelo se extraen en la porción árida del país; dentro de éstas, las extracciones se han concentrado en el altiplano y en la zona costera del noroeste,

particularmente en torno a las áreas de asentamiento urbano-industrial, donde el subsuelo es fuente preferida por su proximidad, calidad y bajo costo de aprovechamiento, así como en las zonas de riego tecnificado por bombeo.

Destino de la precipitación pluvial en la
República Mexicana.

(Volumen en millones de m³ anuales)

Lluvia 1'570,000.

Perdidas por evaporación 1'120,000	Agua utilizada	Flujo a los lagos interiores o al mar, sin aprovechamiento.
Escorrentamiento en ríos y almacenamiento en embalses (aguas superficiales) 410,000	146,000	264,000
Infiltración al subsuelo, recarga natural (aguas subterráneas) 40,000	28,000	12,000
Disponibilidad Total 450,000	174,000	276,000

Fuente: Agua y drenaje metropolitanos, México, Ramírez H. y Noemi Stolarski R., 1993.

En las últimas tres décadas la extracción de agua subterránea se ha incrementado a ritmo acelerado, hasta alcanzar los 28,000 millones de m³ anuales, de cuyo volumen 19,000, cerca del 68%, se destina a riego de dos millones

de hectáreas, que representan poco más de la tercera parte de la superficie total bajo riego.

Para satisfacer parte de las necesidades de agua de los habitantes concentrados en los núcleos de población, se utilizan 5,000 millones de m^3 anuales. Aproximadamente 2,000 millones de m^3 , 7%, se aplica al abastecimiento de la industria y sólo el 5%, 1400 millones de m^3 , son aprovechados por la población rural para uso doméstico y abrevaderos.

El abastecimiento público urbano en la actualidad representa una demanda de agua a nivel nacional superior a los 8,200 millones de m^3 anuales, para satisfacer la necesidad de alrededor de 60 millones de personas que habita los centros urbanos del país.

El poder reciclar el agua tiene inmediatamente tres beneficios que son:

- 1) Satisfacer con más facilidad la demanda de agua de primer uso, pues en general el reuso del agua la disminuye⁽⁵⁾.
- 2) Abatir la cantidad de desechos que son depositados en los cuerpos receptores⁽⁶⁾.
- 3) Disminuir los daños ecológicos que se originaron en diferentes lugares por el uso de agua contaminada⁽⁷⁾.

El problema de reusar el agua se traduce en poder eliminar del agua residual los diversos compuestos y

materiales que se agregan por lo que no resulta fácil si se analiza desde un punto de vista legal, económico y técnico.

El aspecto legal nos indica que aún no se ha conscientizado a las industrias y municipios sobre la necesidad del tratamiento del agua residual, sólo a través de sanciones se ven obligados a ajustarse a la legislación existente y por lo tanto a darle los tratamientos adecuados al agua para poder verterla sin problemas a los cuerpos receptores o en los drenajes. El renglón económico ha servido más como excusa (para justificar la actitud de indiferencia que se tiene ante el problema de contaminación) que como problema real en sí.

Dentro del aspecto técnico se puede decir, que existen sistemas de tratamiento para remover cualquier compuesto del agua, sin embargo, cuando existen bajas concentraciones de la mayoría de ellos, los sistemas de tratamiento no resultan económicos, por lo que es necesario implementar técnicas nuevas que hagan económicos los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

3.1 CONTAMINACION DEL AGUA EN MEXICO^(8,9,10)

Directa o indirectamente se genera una gran cantidad de desechos que al requerir una evacuación rápida y eficiente, obligan a la población a utilizar las corrientes superficiales como simples redes de drenaje, produciendo

interferencias cada vez más graves en los diferentes usos del agua, que además de afectar la salud de los habitantes, se traduce invariablemente en perjuicios económicos.

Todos los problemas de contaminación del agua han generado que existan en el país ciertas zonas donde han disminuido las reservas de las fuentes de abastecimiento, pues los fenómenos de autopurificación, ya no son confiables para restituir la calidad del reuso.

En México, como en muchos países del mundo, las principales fuentes de contaminación se han agrupado de acuerdo a su procedencia en tres sectores, fig. 2.

Clasificación de las fuentes de contaminación.

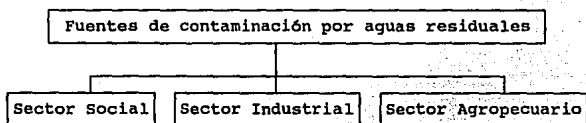


Fig 2

- El social, correspondientes a las descargas de residuos de origen doméstico y público que constituyen las aguas residuales municipales.
- El agropecuario, representado por los afluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, así como por las aguas de retorno de los campos agrícolas.

- El industrial, representado por las descargas originadas por el desarrollo de actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactores para la población.

Sector social.

En relación a las aguas residuales municipales, su generación es de importancia en el contexto nacional, está definitivamente relacionado con la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado con que cuentan las poblaciones.

Dicha cobertura se ha visto favorecida en los grandes asentamientos urbanos, mientras que las zonas rurales y pequeñas ciudades muestran significativo rezago.

De acuerdo con el Censo General de Población y Vivienda de 1990, de los 16 millones de viviendas en la República Mexicana, solamente el 76% contaba con agua potable en sus casas.

El drenaje presenta un problema aun mayor, ya que sólo el 61% de las viviendas reportaba tener este servicio.

La población del país en 1990 fué de 81'249,645 habitantes, dividida en población urbana con 57'959,721 habitantes y población rural con 23'289,924 habitantes, los cuales se distribuyen en 125,300 poblaciones clasificadas de la siguiente manera :

- a) Dispersa: población menor a 1000 habitantes.
- b) Centro de integración: población de 1000 y menor de

15000 habitantes.

c) Centro pequeño: población mayor de 15,000 y menor de 50,000 habitantes.

d) Centro mediano: población mayor de 50,000 y menor de 1'000 000 habitantes (ciudades grandes).

Las localidades que concentran la mayor proporción de habitantes, son aquellas en las que se concentra también la mayor parte de las actividades industriales de la Nación y las que disponen de una mayor cobertura en los servicios de agua potable y alcantarillado, constituyéndose así en las fuentes principales de generación de aguas residuales, siendo los ejemplos más claros las zonas localizadas en torno a las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara.

Del total generado a nivel Nacional, en el Estado de México se generan 24 m³ por segundo de aguas residuales urbano-industriales, de las cuales el 17% son producto de descargas industriales. Del total de las aguas residuales generadas en la entidad, el 90% se vierten sin ningún tratamiento a los cuerpos receptores como ríos y lagunas.

Las expectativas en cuanto al comportamiento en la generación de aguas residuales indican para el año 2000 una generación de 207 m³/seg. correspondiendo a la población 118.4 y 89.4 a la industria.

Sector agropecuario.

Respecto al sector agropecuario, las superficies en producción agrícola de riego y temporal acumuladas a los

años 1982, 1985, 1990 y 2000 totalizan: 19.3, 20.6, 22.9 y 26 millones de hectáreas respectivamente, de acuerdo a la información y expectativas del Plan Nacional Hidráulico.

Evidentemente las aguas de retorno agrícola constituyen una fuente de contaminación muy importante, cuyo impacto se ha manifestado ampliamente en el país, sobre todo en el elevado porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones potenciales de eutroficación.

Sector industrial.

En relación al sector industrial, en México se logró un ritmo anual de crecimiento continuo superior al 8 % hasta el año de 1979, lo que permitió el surgimiento de una fuerte planta productiva la cual se desarrolló con una alta concentración principalmente en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara.

Por otra parte, el uso del agua como vehículo de desechos contaminantes y la poca importancia dada a su manejo y disposición, ha convertido a este sector en un elemento fundamental a ser considerado en el control para la preservación del recurso hidráulico cuya disponibilidad se ve comprometida en amplias zonas del país (fig. 3).

El sector industrial en México se encuentra clasificado en 39 grupos, habiéndose identificado, de acuerdo a los índices de extracción, consumo y contaminación, los señalados en la tabla 5 como los más importantes dentro de este contexto; señalándose como los principales giros



Fuente: Primer Diplomado de Quím. Ambiental del Agua, 1991.

industriales responsables de la generación de mayores descargas de aguas residuales, los siguientes: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica, eléctrica y alimentos (tabla 6).

Tabla 5

Grupos industriales que inciden mayormente en la contaminación del agua en México.

- Grupo 13 - Extracción y beneficio de minerales metálicos.
- Grupo 20 - Fabricación de alimentos.
- Grupo 21 - Elaboración de bebidas.
- Grupo 23 - Industria textil.
- Grupo 24 - Fabricación de prendas de vestir y otros artículos confeccionados con textiles y otros materiales, excepto calzado.
- Grupo 25 - Fabricación de calzado e industria del cuero.
- Grupo 26 - Industria y productos de madera y corcho, excepto muebles.
- Grupo 28 - Industria de papel.
- Grupo 30 - Industria química.
- Grupo 31 - Refinación de petróleo y derivados del carbón mineral.
- Grupo 32 - Fabricación de productos de hule y de plástico
- Grupo 33 - Fabricación de productos de minerales no metálicos, excepto del petróleo y del carbón.
- Grupo 34 - Industria metálica básica.
- Grupo 35 - Fabricación de productos metálicos excepto maquinaria y equipo.
- Grupo 37 - Fabricación y ensamble de maquinaria, equipos, aparatos, accesorios y artículos electrónicos.
- Grupo 38 - Construcción, reconstrucción y ensamble de equipo de transporte y sus partes.
- Grupo 39 - Otras industrias manufactureras.

Tabla 6

Principales giros industriales responsables de las descargas de aguas residuales en México			
Industria	Extracción % relativo	Consumo % relativo	Descarga % relativo
Azucarera	35.2	22.3	38.8
Química	21.17	24.4	21.0
Papel y Celulosa	8.2	16.1	6.0
Petróleo	7.2	3.7	8.2
Bebidas	3.3	6.4	2.4
Textil	2.6	2.4	2.7
Siderúrgica	2.5	5.5	1.7
Eléctrica	1.5	4.7	0.7
Alimentos	0.2	0.3	0.2
Resto del sector	0.17	14.1	18.1

Como puede observarse, en conjunto corresponden prácticamente al 82 % del total de las aguas residuales generadas por el sector, destacando las industrias azucarera y química con el 59.8 % del total.

Sin embargo, considerando no solamente los volúmenes de agua manejados, sino las circunstancias locales en las cuales se desenvuelve la industria, se han establecido como

las más importantes en el ámbito de la prevención y control de la contaminación del agua en México, las siguientes : azúcar y alcohol; refinación de petróleos y petroquímica; papel y celulosa; curtiduría; química; textil y alimenticia.

En el país existen 130 cuencas hidrológicas en las que, de una u otra forma, descansa la actividad que sobre los recursos hidráulicos se ejerce en el país, sin embargo existen algunas sobre las que la actividad ha sido mucho más intensa, debido en parte a la magnitud de las mismas y la importancia que ellas tienen. En la tabla 7 se presenta el comportamiento mencionado, observandose que existen 11 cuencas sumamente extensas y 43 con un nivel medio de explotación, pero que se encuentran en proceso de deterioro. Las cuencas restantes son de menor importancia.

Tabla 7

Actividad sobre las diversas cuencas hidrológicas del país.

Num. Cuencas	Actividad sobre ellas
11	59% Población.
	52% Superficie de riego.
	77% Valor bruto de la producción
43	22% Población.
	45% Superficie de riego
	9% Valor bruto de la producción

Dentro de los diferentes tipos de agua residual, es decir urbano agrícola e industrial los de tipo urbano e industrial son los que presentan una mayor cantidad de contaminantes, ya que el 60 % de la población habita en zonas urbanas (tabla 8).

Tabla 8

Características de los diversos tipos de agua residual

Urbanas	Grandes volúmenes. Alto contenido de materia orgánica Patógenos. Variación horaria.
Industriales	Grandes volúmenes. Gran variación a la composición. Continuas o periódicas.
Agrícolas	Volumen dependiente de la precipitación y permeabilidad del suelo. Componentes del suelo, fertilizantes y plaguicidas.

Las aguas residuales provenientes de ciudades con poca industria son las más estudiadas en cuanto a tratamiento. Así mismo son las que se reutilizan con más frecuencia ya que después de tratarlas generalmente no contienen compuestos que afecten los usos posteriores.

Por otro lado, es importante considerar la contaminación que sufren las aguas marinas, ya que el país cuenta con 10,000 km de litorales, una plataforma continental de 500,000 km² y 1.5 millones de hectáreas de aguas estuarias, que lo dotan de una fuente insuperable de recursos económicos y alimenticios.

Los océanos han sido utilizados como receptores de basura y diversos desechos pensando que no serían afectados tomando en cuenta su grado de dilución, sin embargo, el deterioro de algunas playas han indicado lo contrario.

Así mismo, la contaminación del mar se ha incrementado paralelamente con los asentamientos humanos y las diferentes actividades portuarias, turísticas, industriales y comerciales.

Un estudio realizado sobre las 320 cuencas hidrológicas con las que cuenta el país, llevó a clasificarlas en prioridad de atención para la prevención y control de su deterioro, dividiéndolas de la siguiente manera :

I.- Cuencas de primer orden.

Son aquellas donde existe un alto grado de contaminación de tal forma que requieren de una atención inmediata, en ellas se encuentra el 54 % de la carga orgánica del país, el 59 % de la población, el 52 % de la superficie bajo riego y el 77 % del valor bruto de la producción industrial.

En la tabla 9 se especifican las características principales de las cuencas pertenecientes al primer orden.

II.- Cuencas de segundo orden.

Dentro de estas cuencas fueron clasificadas 43, en las cuales se encuentra el 41 % de la carga orgánica del país, el 45 % de la población y el 9 % del valor bruto de la producción industrial.

En la tabla 10 se citan las cuencas de segundo orden.

III.- Cuencas de tercer orden.

Las cuencas correspondientes a esta clasificación fueron 164 y comprenden el 6 % de la población y el 7 % del valor bruto de la producción industrial.

Tabla 9

"Cuencas de primer orden"		
Cuenca	Carga orgánica aproximada en miles Ton. DBO/año	Principales fuentes de contaminación
Panuco	335	Urbana, industrias químicas, de bebidas alcohólicas, papelera azucarera, petrolera y textil.
Lerma	135	Urbana, industrias químicas, de bebidas alcohólicas, petrolera, azucarera, productos lácteos y alimenticia.
Balsas	92	Urbana, azucarera, química y textil.
Río Blanco	60	Urbana, azucarera, papelera y de bebidas alcohólicas.
Guayalejo	60	Urbana y azucarera.
San Juan	60	Urbana, química, papelera, de bebidas alcohólicas, petrolera productos lácteos y alimenticia.
Culiacan	49	Urbana y azucarera
Fuerte	48	Urbana, industria azucarera y papelera.
Coahuayana	26	Urbana, industria azucarera y papelera
Nazas	16	Urbana, industrias químicas, de bebidas alcohólicas y alim.
Conchos	12	Urbana, papelera, petrolera, de la curtiduría, matanza de ganado y alim.

Fuente: Primer Diplomado de Quím. Ambiental del Agua, 1991.

Tabla 10

"Cuencas de segundo orden"		
Salado	Soto la Marina	Tecolutla
Colorado	Actopan	Cihuatlan
Sonora	Grijalva	San Lorenzo
Tijuana	Mayo	Papagayo
Jamapa	Armeria	Usumacinta
Bravo	La Antigua	Suchite
Presidio	Coatzacoalcos	Ensenada
San Pedro	Nautla	De Bustillos
Matape	Sinaloa	Coyuca
Papaloapan	Mocorito	Santo Domingo
Casas Grandes	Atoyán o Verde	Tonala
Agua Naval	Tehuantepec	Cocoraque
Yaqui	Cazones	San Diego
Ameca	Santa María	Tuxpan
Concepción		

Fuente: Primer Diplomado de Quím. Ambiental del Agua, Facultad de Química. México, D.F., 1991.

4.0 ANTECEDENTES.

En México se considera a la ciudad de Monterrey como pionera en el tratamiento de las aguas residuales y su reuso, pues hay antecedentes de que en Febrero de 1911, George Robert Graham Conway, Ingeniero encargado de las obras de construcción del sistema de agua potable y alcantarillado de la ciudad, presentó a la "American Society of Civil Engineers"; un bien documentado informe titulado "Water Work and Sewerage of Monterrey-México".

El 16 de Diciembre de 1957 se fundo el organismo "Agua Industrial de Monterrey, Sociedad de Usuarios", cuyo objetivo principal fué el de captar, procesar y distribuir 1200 litros por segundo de agua de la presa de la Boca, hoy presa Rodrigo Gómez y usarlos en procesos industriales de aproximadamente 40 de las más variadas empresas y plantas generadoras de energía eléctrica, tanto públicas como privadas.

4.1 CARACTERISTICAS DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO^(9,10)

En lo referente al Valle de México se tiene como característica de ser una gran superficie amurallada, en la cual las sierras más altas se localizan al Sur, Sureste y Suroeste, con excepción de la salida de Amecameca, en tanto que por el Norte y Noroeste es muy baja. La cuenca tiene

9,600 km² cuya distribución de acuerdo a la división política de los Estados Unidos Mexicanos, se puede observar en la tabla 11 y en la fig. 4.

Tabla 11

Estado	Superficie km ²	%	
México	4,800	50	43
Hidalgo	2,540	26	10
D.F.	1,320	14	16 Deleg.
Tlaxcala	840	9	9
Puebla	100	1	2
Total	9,600	100	

Fuente: Aguas Residuales de la ZMCM, 1989.

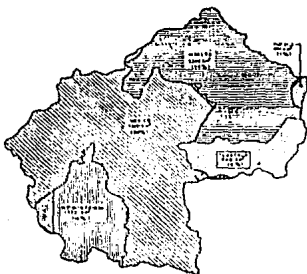


Fig 4 Distribución política de la superficie de la Cuenca del Valle de México.

Con respecto a la temperatura que ha predominado en la planicie del Valle de México, de 1921 a 1980 se reportan valores medios de 15°C, disminuyendo en las partes altas (Sierras del Ajusco, Chichinautzín y Nevada) donde alcanza valores entre 7 y 12°C. Las temperaturas en la Cuenca han variado en los últimos años, aunque en promedio por decenios es de 15°C de acuerdo a los boletines hidrológicos de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, las cuales pueden observarse en la tabla 12. El análisis de los datos indican que de 1921 a 1980 las temperaturas medias decenales se han incrementado en 1.4°C, lo cual de acuerdo al Servicio Meteorológico de Tacubaya se debe al incremento demográfico y a la infraestructura que se ha desarrollado en la ciudad.

Tabla 12

Período	Temperatura (°C)
1921 - 1930	14.7
1931 - 1940	14.7
1941 - 1950	15.4
1951 - 1960	15.5
1961 - 1970	15.8
1971 - 1980	16.1
1993	16.0

Fuente: Aguas Residuales de la ZMCM, 1989.
Anuarios Estadísticos. INEGI, 1993.

La Cuenca del Valle de México recibe una precipitación pluvial promedio de 700 mm por año lo que representa alrededor de 6,850 millones de m^3 al año. De éstos, 790 recogen los acuíferos, 130 se almacenan en las tres presas existentes y el caudal restante escurre a la laguna de Zumpango, al lago de Texcoco y al drenaje, o sea que se pierde el 86 %, al no tener capacidad para almacenar estos caudales.

En el Estado de México se localizan tres regiones hidrológicas: la región del Lerma, la región del Balsas y la región del Valle de México-Panuco.

De las tres regiones hidrológicas del Estado de México, se esta en posibilidad de disponer de 136 m^3 por segundo de los 160 de escurrimientos superficiales de las aguas. En la región del Lerma, 15 %, existen volúmenes comprometidos dentro de la región y su alto grado de contaminación impide su uso pleno; las aguas del Valle de México-Panuco, 15 %, se estan utilizando fuera de la región y su calidad es mala, puesto que se mezcla con las aguas del Emisor Poniente y del Gran Canal, sólo los de las regiones del Balsas, 70 %, son susceptibles de utilización, pero requieren grandes inversiones para captar, regular, elevar y conducir a las zonas de demanda.

En lo referente a las aguas subterráneas, la recarga de los acuíferos del Estado se estima en el orden de 47.7 m^3 por segundo y la extracción de 50.7 m^3 , de lo que resulta un deficit de 3 m^3 por segundo, que trae como consecuencia una

sobreexplotación de los acuíferos de las regiones del Lerma y valle de México; para la región del Balsas se ha, considerado que el acuífero se encuentra en equilibrio.

Los datos de la precipitación anual reportados por la Comisión de Aguas del Valle de México (1963-1987) y la Dirección Hidrológica de la SARH (1988), permitieron formar un plano con las curvas isoyetas anuales en cada una de las 11 zonas hidrológicas en que se ha dividido la cuenca (ver fig. 5).

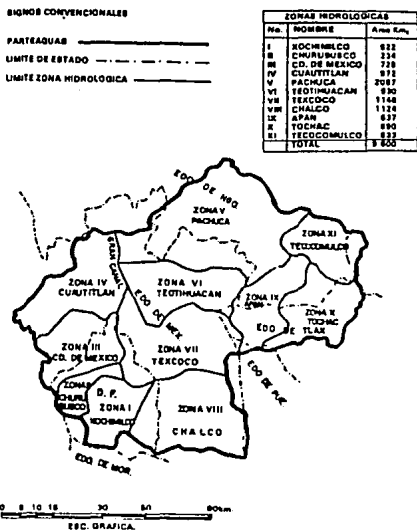


Fig. 5 Zonas Hidrológicas de la Cuenca del Valle de México.

Las zonas hidrológicas de la cuenca son las siguientes:

Zonas I y VIII.- Las corrientes de estas zonas corresponden a la sierra de Chichinautzín, cuya característica es la gran permeabilidad de sus formaciones basálticas. La lluvia es abundante en ambas zonas.

Zona II.- La integran las corrientes que forman el Río Churubusco en la parte Suroeste del área urbana de la Ciudad de México, recogiendo los aportes de los Ríos Eslava y Magdalena.

Zona III.- Sus corrientes cubren la mayor parte de la Ciudad de México.

Zona IV.- incluye el área de Cuautitlán, recogiendo los aportes de agua de la zona.

Zona V.- Esta corresponde a la Cuenca del Río de las Avenidas de Pachuca.

Zona VI.- A esta zona corresponde la Cuenca del Río San Juan Teotihuacán.

Zona VII.- A esta corresponden los Ríos que descargan en el Ex-Lago de Texcoco, con excepción del Río San Juan Teotihuacan.

Zonas IX, X y XI.- Estas zonas no formaban parte de la Cuenca pero se han ido incorporando a ésta, debido a las obras de ingeniería recientemente ejecutadas.

La zona metropolitana consume aproximadamente 63 m^3 por segundo, 40 en el Distrito federal y 23 en los municipios conurbados de la Ciudad de México.

El agua de la Ciudad proviene principalmente de un manto acuifero localizado en el Valle que provee 43 m^3 por segundo, los 20 m^3 restantes son provistos por fuentes externas.

Entre las principales fuentes externas esta el sistema del Cutzamala, que transporta agua localizada a casi 1400 km. de la Ciudad y a una altitud aproximada de 1000 m por debajo del Valle. El agua de esta fuente es cara dados los altos costos de bombeo. Si bien la dotacion de 63 m^3 por segundo para la zona metropolitana, en términos generales, es suficiente, su distribución no es equitativa. El promedio de consumo para todos los usos es de 303 litros por habitante por día en el Distrito Federal y 198 litros por habitante por día en el Estado de México; y, mientras en el poniente de la ZMCM hay colonias donde el consumo es de 600 litros por habitante por día, en el oriente, existen grandes áreas urbanas con apenas 200 litros por habitante por día. Y aun al interior de las entidades hay zonas o municipios que reciben dotaciones mayores de 300 litros por habitante por día, mientras en otras, como la región oriente del Distrito Federal, solo alcanzan los 255 litros, o como Chalco que solo recibe 32 litros, en promedio. Es conveniente aclarar que la

falta de infraestructura hidráulica en el Estado de México origina una marcada diferencia. Para eliminar los rezagos e igualar los promedios de dotación de agua potable a los municipios conurbados a la aportación percapita del Distrito Federal, se requiere una dotación adicional de 6.7 m^3 por segundo.

Para completar el análisis a continuación se indica como han cambiado los incrementos de la población de la cuenca cada diez años, observándose que las curvas de población total, urbana y rural coinciden al registrar un incremento en el período de 1914-1921 debido a la Revolución Mexicana; pero apartir de 1921 hasta 1950 se incrementan estas tres curvas hasta que la curva de población rural baja considerablemente respecto a las otras. Esto último debido a que la Ciudad de México creció fuertemente absorbiendo numerosos poblados cercanos, los cuales antes eran rurales (ver tabla 13)

El crecimiento desordenado de la población ha traído como consecuencia que el 83.3% (8000 km^2) de la superficie total de la cuenca (9600 km^2) se haya urbanizado, lo cual se observa en los datos de la tabla 14.

Tabla 13

Distribución de la población en la
Cuenca del Valle de México

Censo	Población Total	Aumento en %	Población rural	Aumento en %	Población urbana	Aumento en %
1900	891,189		463,898		427,291	
1910	1'065,143	19.5	441,286	-0.56	603,857	41.3
1921	1'234,266	15.8	441,505	-4.20	792,761	31.2
1930	1'595,814	29.7	457,703	3.60	1'138,111	43.5
1940	2'191,652	37.3	520,422	13.70	1'671,230	46.8
1950	3'573,764	63.0	660,289	26.90	2'913,475	74.3
1960	5'661,724	58.4	292,669	-55.70	5'309,055	84.2
1970	8'643,425	52.7	540,307	84.60	8'103,118	50.9
1980	14'215,620	64.5	511,549	-5.40	13'704,271	69.1
1990	24'827,283	74.6				

Fuente: Censos Generales de Población. INEGI, hasta 1990.

Tabla 14

Superficie Urbanizada en la Cuenca del Valle de México

Año	Superficie (km ²)	No. Habitantes	Densidad de población (hab/km ²)
1524	2.7	30,000	11,000
1700	5.6	125,000	22,321
1845	7.2	350,000	48,611
1900	10.8	891,184	85,517
1910	23.3	1'065,143	45,714
1930	86.06	1'595,814	18,543
1940	145.8	2'191,652	15,032
1950	240.6	3'573,764	14,854
1960	536.5	5'661,724	10,551
1970	682.6	8'643,425	12,662
1980	2000.0	14'215,620	7,108
1990	8000.0	24'827,283	3,103

Fuente: Censos Generales de Población. INEGI, hasta 1990.
Secretaría de Programación y Presupuesto (1989).

4.2 GENERACION Y DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZMCM⁽⁹⁾

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) está ubicada en el Valle de México, que es una cuenca cerrada, localizada a más de 2000 msnm. En la ZMCM se generan del orden de 40 m³/s de aguas residuales, de los cuales, el Distrito Federal produce 29 m³/s y los 17 Municipios conurbados del Estado de México 11 m³/s. En el D.F., la mayor parte del caudal de aguas residuales se genera en las delegaciones más consolidadas, ubicadas en el centro de la ciudad y en las delegaciones periféricas de Iztapalapa y Gustavo A. Madero por su elevado número de habitantes.

El nivel de servicio promedio es del 74 %, sin embargo existen cuatro delegaciones donde apenas se alcanza el 60 %; éstas son Coyoacan, Iztapalapa, Tlalpan y Tláhuac. Las áreas con servicio del D.F. cuentan con drenaje combinado casi en su totalidad, salvo en algunos pueblos y colonias de las delegaciones Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco donde se recogen las aguas residuales únicamente. El sistema de drenaje es complejo y presenta problemas de falta de capacidad debido al hundimiento de la ciudad que modifica la inclinación original de las tuberías y obliga a depender de plantas de bombeo. Las aguas que colecta descargan a cuatro grandes drenes : el Río Churubusco, el Gran Canal del Desague, el Interceptor del Poniente y el Sistema de Drenaje Profundo.

Existen tres salidas para las aguas del Valle de México; el Emisor del Poniente, el Gran Canal del Desague y el Emisor Central.

- EL EMISOR DEL PONIENTE es la salida más antigua. Se construyó en 1959 y 1960 originalmente con la finalidad de desalojar las aguas del Río Cuautitlán que producía inundaciones en época de crecientes. El emisor nace al Noroeste de la Cuenca del Valle de México y conduce aguas negras desde el Vaso de Cristo hasta el Tajo de Nochistongo y al gran canal a través del Lago de Zumpango. Esta obra entró en servicio en 1964 y en la actualidad recibe también aportaciones del Distrito Federal a través del Interceptor del Poniente ($25 \text{ m}^3/\text{s}$). Tiene una longitud de 47.8 km. y conduce hasta $80 \text{ m}^3/\text{s}$, descarga al Río el Salto, afluente del Tula.

- EL GRAN CANAL DEL DESAGUE tiene una longitud de 47.4 km. Se construyó durante la época del Porfiriato y tiene capacidad para conducir más de $115 \text{ m}^3/\text{s}$. Descarga a través de dos túneles al Río Salado, también afluente del Río Tula. Se inicia en una zona urbana y a lo largo de todo su recorrido en el D.F. y parte del Estado de México atravieza numerosas colonias, produciendo un impacto negativo en sus habitantes.

- EL EMISOR CENTRAL es la estructura más reciente. Forma parte del sistema de drenaje profundo con una longitud de

49.7 km y se construyó para operar sólo en épocas de avenidas. Tiene capacidad máxima de 220 m³/s; descarga al Río el Salto y através del Canal Salto-Tlamaco concluido en 1988, deriva aguas hacia el Distrito de Riego 03.

Dentro de los cuerpos receptores de aguas residuales, el Lago de Texcoco juega un papel muy importante, porque recibe las aportaciones de agua pluvial de los Ríos del Oriente y los desechos líquidos del Río de Compañía y del Río Churubusco. Cuenta con una gran capacidad de regulación, permite la reutilización de agua para diversos fines y descarga al Gran Canal del Desagüe.

Las tres salidas del Valle de México conducen las aguas residuales de la Zona Metropolitana hacia el Río Tula de donde se extraen para riego. Continuando con el curso del Río Tula, éste se une al Río Salado y despues de confluir con el de San Juan del Río, se llama Moctezuma, nombre con el que se conoce a través de la Huasteca. Recibe como afluentes a los Ríos Estorax, Amejac, Claro, Tempual y Tamuín, en el poblado de este nombre y a partir del cual se le cambia a Pánuco para seguir lentamente hacia el Este con suave pendiente y curso sinuoso hasta alcanzar el mar del Golfo de México.

4.3 TRATAMIENTO Y REUSO.

En la actualidad, existen 10 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal: Rosario, Coyoacan, Ciudad Universitaria, Tlatelolco, Acueducto de Guadalupe, San Juan de Aragón, Ciudad Deportiva, Cerro de la Estrella, Chapultepec y Bosques de las Lomas; en conjunto tienen una producción media de 1.89 m³/s. El agua se destina al riego de áreas verdes, llenado de canales en Xochimilco y de lagos en Chapultepec y Aragón, también se destina el agua tratada a la industria principalmente en las delegaciones de Iztapalapa y Azcapotzalco.

En el Estado de México existen plantas de tratamiento de aguas residuales que opera el Gobierno del Estado, en Naucalpan y en Ciudad Satélite, con una capacidad conjunta de 35 litros por segundo; la planta de Netzahualcóyotl a cargo del municipio, con capacidad de 200 litros por segundo, la que opera la Federación para Riego de Cultivos, ubicada en Lechería; para fines industriales la termoelectrica del Valle de México en Ecatepec, con capacidad de 750 litros por segundo y en forma privada la de San Juan Ixhuatepec y la de FORD. Además, la Universidad de Chapingo cuenta con una planta de tratamiento con una capacidad de 40 litros por segundo. También en el Lago de Texcoco existe una planta de tratamiento secundario con capacidad de 1 m³/s y lagunas

facultativas con 500 litros por segundo. Las aguas tratadas se destinan al llenado del Lago Nabor Carrillo. En la tabla 15 se indican las plantas de tratamiento de aguas residuales para uso municipal en el Valle de México. En la tabla 16 se indican las plantas de tratamiento de aguas residuales para uso industrial.

El mayor volumen de aguas residuales generado en la ZMCM se utiliza para riego sin tratamiento previo, salvo el que puede alcanzar a lo largo de su recorrido en causes y en conductos cerrados. Los mayores usuarios se encuentran en los Distritos de Riego 03 y 100, que se alimentan con agua del Río Tula, donde se reciben las aguas residuales de la ZMCM y aguas claras de los Ríos Tepejí, Tlautla y Rosas. También hay extracciones de aguas residuales del Gran Canal para riego, desde Chiconautla en el Valle de México hasta los túneles de descarga. Además el Emisor del Poniente desvía parte de su caudal hacia Zumpango ($5\text{m}^3/\text{s}$).

TABLA 15.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA USO MUNICIPAL EN EL VALLE DE MEXICO

PLANTA DE TRATAMIENTO	PROCEDENCIA DEL INFUENTE	CAPACIDAD INSTALADA (LPS)	CAPACIDAD DE OPERACION (LPS)	PROCESO	VOL. ANUAL TRATADO (10 ⁵ m ³)
Chapultepec.	Colector Lomas de Chapultepec.	160	100	Lodos Activados.	0.73
Ciudad Deportiva.	Canal de Miramontes	230	200	Lodos Activados.	1.53
Xochimilco.	Río Churubusco.	1250	450	Lodos Activados.	2.07
San Juan de Aragón.	Gran Canal del Desague.	500	275	Lodos Activados.	1.15
Cerro de la Estrella.	Planta de Aculco.	2000	1000	Lodos Activados.	6.79
Bosques de las Lomas.	Colector Bosques de las Lomas.	55	14	Aeración Extendida.	0.28
Acueducto de Guadalupe.	Río de los Remedios	80	64	Lodos Activados.	0.33
S u b t o t a l		4275	2103		12.88
Club de Golf La Hacienda.	Colector Cd. de México.	60	56	Filtros biológicos	0.32
Unidad Ixtacalco.	Colector Ixtacalco.	12	9.2	Lodos Activados.	0.06
Naucalpan.	Colector.	5	3.5		0.07
T O T A L		4352	2172		13.33

NOMENCLATURA : LPS : Litros por segundo.

TABLA 16.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA USO INDUSTRIAL

PLANTA DE TRATAMIENTO	INDUSTRIA	USOS	CAPACIDAD INSTALADA (LPS)
Termoeléctrica del valle de México.	Comisión Federa de Electricidad.	Enfriamiento	450
San Juan Ixhuatepec.	Sociedad de usuarios (11 empresas).	Varios	150
Planta Ford.	Ford Motor Co.	Servicios	30
Azacapotzalco.	PEMEX	Enfriamiento, Serv. y Procesos.	255
Negociación Papelera Mexicana.	Negociación Papelera Mexicana.	Proceso y Servicios	23
Cartonajes Estrella.	Cartonajes Estrella, S.A.	Proceso y Servicios	17
Loreto y Peña Pobre.	Fábrica de Papel Loreto y Peña Pobre, S.A.	Proceso y Servicios	48
S u b t o t a l			973
Termoeléctrica Tula.	Comisión Federal de Electricidad.	Enfriamiento	600
T O T A L			1573

NOMENCLATURA : LPS : Litros por segundo.

5. CONCEPTOS GENERALES.

5.1 Leyes y Reglamentos.

El 23 de Marzo de 1971 se declaran de interes público las actividades para la prevención y el control de la contaminación y el mejoramiento, conservación y restauración del medio ambiente, a través del decreto "Ley Federal Para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental". Con fundamento en dicha ley el 29 de Marzo de 1973 se publica el "Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas". Posteriormente en Diciembre de 1975 se decretan y publican modificaciones y adiciones a los artículos 24 y 70 de dicho reglamento. Este reglamento establece en su artículo 6.- La prevención y control de la contaminación de las aguas, para restaurar la calidad de los cuerpos receptores, deberá realizarse en los términos de éste reglamento, mediante los siguientes procedimientos:

I.- Tratamiento de las aguas residuales para el control de sólidos sedimentables, grasas y aceites, materia flotante, temperatura y potencial de hidrógeno (pH).

II.- Determinación y cumplimiento de las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales, mediante el tratamiento de éstas, en su caso, de acuerdo con el resultado de los estudios que la autoridad competente realice de los cuerpos receptores, su capacidad de asimilación, sus

características de dilución y otros factores. Así mismo estableció una tabla de valores máximos tolerables, mismos a los que deberá ajustarse como mínimo cualquier descarga de aguas superficiales o subterráneas.

Tabla de Valores Máximos Tolerables

I .- Sólidos Sedimentables	1.0 ml/l.
II .- Grasas y Aceites	70.0 mg/l.
III.- Materia Flotante	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm de claro libre cuadrado.
IV .- Temperatura	35 °C.
V .- pH	6 - 9

Las modificaciones al artículo 24 establecen que las autoridades competentes con base en estudios de una cuenca o región, dictaminarán y fijarán las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales de acuerdo con la clasificación, del agua del cuerpo receptor, su volumen o gasto y las tolerancias fijadas. Entre lo último que el Gobierno Federal ha decretado en materia de descargas de aguas residuales de tipo industrial se encuentran una serie de Normas Oficiales Mexicanas "NOM-CCA" que modifican los valores máximos permisibles, y el procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas

residuales, de tal forma que estos valores se ajustarán de acuerdo al tipo de actividad industrial.

A continuación se hace mención de estas normas las cuales fueron publicadas en el "Diario Oficial de la Federación", el 18 de Octubre de 1993. Acuerdos por los que se expiden las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los límites máximos permisibles y el procedimiento para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua provenientes de:

- Centrales termoeléctricas convencionales (NOM-CCA-001-ECOL/1993)
- Industria productora de azúcar de caña (NOM-CCA-002-ECOL/1993).
- Industria de refinación de petróleo crudo, sus derivados y petroquímica básica (NOM-CCA-003-ECOL/1993).
- Industria de fabricación de fertilizantes, excepto las que produzcan ácido fosfórico como producto intermedio (NOM-CCA-004-ECOL/1993).
- Industria de productos plásticos y polímeros sintéticos (NOM-CCA-005-ECOL/1993).
- Industria de fabricación de harinas (NOM-CCA-006-ECOL/1993).
- Industria de la cerveza y de la malta (NOM-CCA-007-ECOL/1993).
- Industria de fabricación de asbestos de construcción (NOM-

CCA-008-ECOL/1993).

- Industria elaboradora de leche y sus derivados (NOM-CCA-009-ECOL/1993)
- Industria de manufactura de vidrio plano (NOM-CCA-010-ECOL/1993).
- Industria de productos de vidrio prensado y soplado (NOM-CCA-011-ECOL/1993).
- Industria de fabricación de caucho sintético, llantas y cámaras (NOM-CCA-012-ECOL/1993).
- Industria del hierro y del acero (NOM-CCA-013-ECOL/1993).
- Industria textil (NOM-CCA-014-ECOL/1993).
- Industria de la celulosa y el papel (NOM-CCA-015-ECOL/1993).
- Industria de bebidas gaseosas (NOM-CCA-016-ECOL/1993).
- Industria de acabados metálicos (NOM-CCA-017-ECOL/1993).
- Industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones (NOM-CCA-018-ECOL/1993).
- Industria de impregnación de productos de aserradero (NOM-CCA-019-ECOL/1993).
- Industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores (NOM-CCA-020-ECOL/1993).
- Industria del curtido y acabado en pieles (NOM-CCA-021-ECOL/1993).
- Industria de matanza de animales y empacado de cárnicos (NOM-CCA-022-ECOL/1993).
- Industria de envasado de conservas alimenticias (NOM-CCA-023-ECOL/1993)

- Industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen (NOM-CCA-024-ECOL/1993).
- Industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada (NOM-CCA-025-ECOL/1993).
- Restaurantes o de hoteles (NOM-CCA-026-ECOL/1993).
- Industria del beneficio del café (NOM-CCA-027-ECOL/1993).
- Industria de preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de producción de harina y aceite de pescado (NOM-CCA-028-ECOL/1993).
- Hospitales (NOM-CCA-029-ECOL/1993).
- Industria de jabones y detergentes (NOM-CCA-030-ECOL/1993).
- Industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales, que descargen a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal (NOM-CCA-031-ECOL/1993).
- Origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola (NOM-CCA-032-ECOL/1993).
- Condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal, o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas (NOM-CCA-033-ECOL/1993).

El 13 de Diciembre de 1989 la SEDUE publicó en el Diario Oficial de la Federación los criterios ecológicos para la calidad del agua (CE-CCA- 001/89).

6.0 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES⁽¹¹⁾

El tratamiento de las aguas residuales depende de su composición, concentración y flujo, además de que deben cumplir las condiciones de descarga particulares de cada industria, la disponibilidad de abundancia de agua, la disponibilidad de reuso de agua y la disponibilidad de alcantarillas para aguas residuales que son tratadas en plantas de propiedad pública. Pero el objetivo de un tratamiento es básicamente el mismo : eliminar ciertos materiales de desperdicio, tanto especificados legalmente como para eliminar los efectos nocivos o desagradables que esos desechos pueden tener en el medio ambiente local.

Los contaminantes presentes en un agua residual pueden ser eliminados por métodos físicos, químicos y biológicos. Generalmente estos se clasifican en forma individual como operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios.

Operaciones físicas unitarias.

Son los métodos en los cuales predomina la aplicación de las fuerzas físicas, éstos métodos fueron los primeros en ser utilizados en el tratamiento del agua residual. El mezclado, floculación, sedimentación, flotación y filtración son operaciones unitarias típicas.

Procesos químicos unitarios.

En éstos métodos de tratamiento la eliminación o conversión de los contaminantes es provocada por la adición de productos químicos. La precipitación y la desinfección son ejemplo de los procesos más comunmente utilizados en el tratamiento de agua residual.

Procesos biológicos unitarios. (12)

Los métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de contaminantes por una oxidación biológica son conocidos como procesos biológicos unitarios.

El tratamiento biológico se usa basicamente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual. Estas sustancias se convierten en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que puede separarse por sedimentación. El tratamiento biológico se usa también para la eliminación del nitrógeno contenido en el agua residual. Con un control adecuado del medio, el agua residual puede tratarse biológicamente en la mayoría de los casos. El diagrama de bloques de la fig. 6 muestra un sistema integrado, capaz de tratar una variedad de aguas residuales de tipo industrial y municipal. El esquema se basa en el tratamiento convencional en serie de los procesos de tratamiento primario y secundario, pero también incluye tratamiento terciario y tratamiento individual de ciertas corrientes.

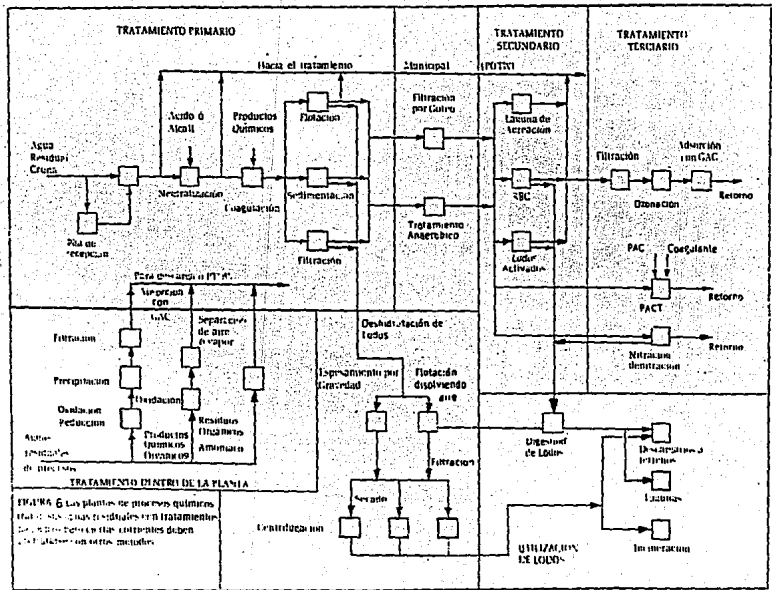


FIGURA 6 Las plantas de procesos químicos, tales como las residuales, en tratamiento de aguas deben de tener los efluentes debidamente tratados con otros métodos.

6.1 Tratamiento Primario. (12)

El tratamiento primario minimiza las variaciones de flujo y concentración en el agua residual y también remueve una variedad de contaminantes. Ciertas aguas residuales también deben ser pretratadas en la planta para remover contaminantes no degradables o tóxicos. El tratamiento primario prepara las aguas residuales para el tratamiento secundario o biológico. Esto significa que el pretratamiento y tratamiento tienen que alcanzar :

Variación en la carga orgánica < 2:1 ; pH 6-9 ; SST < 125 ppm; aceites y grasas < 15 ppm; sulfuros < 50 ppm; y metales pesados generalmente < 1 ppm.

1.- Cribado de los sólidos grandes, es ampliamente utilizado en ingenios, cervecerías e industria de pulpa y papel. Dependiendo de la aplicación se podrán usar cribas de rejillas, estáticas rotatorias o vibratorias.

2.- La sedimentación remueve los sólidos suspendidos. Ciertas partículas como desechos de las industrias de pulpa de papel y domésticos, se aglomeran a medida que sedimentan, lo cuál, afecta la velocidad de sedimentación. Partículas tales como arena, cenizas volátiles y carbón, no pueden aglomerarse; éstas sedimentan discretamente. Hay varios tipos de tanques de sedimentación; en la mayoría, los sólidos son removidos del fondo mecánicamente. En general, la arena y otras partículas serán removidas primero para prevenir la abración en las bombas, taponeamiento de tuberías y acumulación en el fondo de los recipientes.

3.- La flotación de aceites, grasas y otros materiales, permiten desnatar el agua residual. Los separadores por gravedad son usados cuando los glóbulos de aceite son bastante grandes que flotan en la superficie en un tiempo razonable. La flotación por aire aumenta la separación de materiales flotantes cuyas partículas son atrapadas por las burbujas de aire. En una flotación aire disuelto (DAF), se generan pequeñas burbujas de aire inyectando éste, por presión bajo el agua. En una flotación inducida por aire (IAF), el aire es introducido mecánicamente, o por medio de difusores con pequeños orificios. La flotación no puede remover aceite dispersado o emulsificado, a menos que se agreguen coagulantes.

4.- La homogenización minimiza las variaciones en flujo y composición del agua residual y previene golpes de carga. El recipiente de homogenización puede ser diseñado con volumen variable ó constante; usualmente con mezclador para asegurar una adecuada homogenización y prevenir que los sólidos se sedimenten.

5.- Generalmente la neutralización es obtenida mezclando la descarga con ácido o alcali. También si las corrientes ácidas y alcalinas son alimentadas al recipiente de homogenización, éstos se neutralizan entre sí. La cal (CaO), el hidróxido de calcio o cal hidratada Ca(OH)_2 son los agentes neutralizantes más comunes para ácidos, debido a que es barato y fácil de añadir, pero requiere de un tiempo de reacción grande y puede conducir a problemas por precipitación de sulfato de calcio.

Las camas de caliza pueden neutralizar efectivamente los ácidos de resistencia variable.

La mayoría de los ácidos fuertes pueden ser usados para neutralizar aguas residuales alcalinas; generalmente el ácido sulfúrico es el más barato.

Para pequeñas desviaciones de pH : La mayoría de las aguas residuales, es un gran problema neutralizarlas, debido a que pequeñas variaciones en la dosificación de ácido ó alcali, provocan grandes variaciones en el pH. Por ésta razón, es recomendable tener sistemas de dos ó tres etapas, con control automático de pH (como el de la fig.7), o, para neutralizar en proceso "batch", si el flujo es mucho menor a 100,000 gal/día.

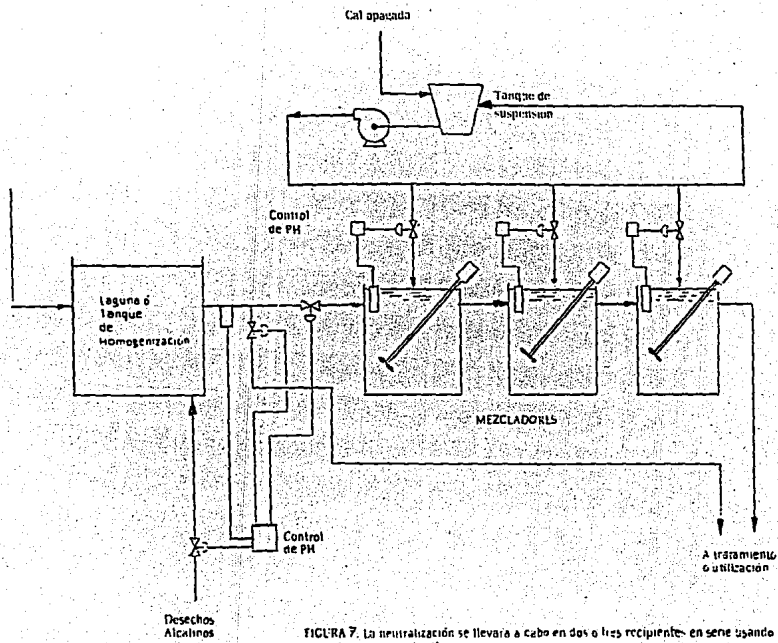


FIGURA 7. La neutralización se llevará a cabo en dos o tres recipientes en serie usando control automático de PH

6.2 Tratamiento Biológico^(11,13).

En el tratamiento biológico se eliminan bacterias y otros microorganismos y se metabolizan orgánicos y coloidales del agua residual reduciendo la DBO y DQO a 10 - 100 ppm.

Los procesos de oxidación biológica pueden ser aerobios o anaerobios, los primeros se realizan en presencia de oxígeno libre disuelto, mientras que los anaerobios transcurren en ausencia de oxígeno libre disuelto.

En la tabla 17 se presentan los sistemas de tratamiento biológico más comunmente utilizados en la actualidad. Para algunos de estos procesos se utiliza más de un nombre y es la razón por la cual aparentemente se omite alguno.

El mecanismo de la oxidación biológica consiste en la asimilación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales por los microorganismos, en presencia de oxígeno y nutrientes.

Generalmente el tratamiento biológico se lleva a cabo aerobicamente; aquí, el agua es aireada y los microorganismos convierten el carbón orgánico a dióxido de carbono y nuevas células.

Tabla 17.

Procesos Biológicos de Tratamiento.

<p>Proceso Aerobio</p>	<p>Microorganismos en suspensión. Microorganismos adheridos a un medio fijo. Combinación.</p>
<p>Proceso Anaerobio</p>	<p>Microorganismos en suspensión. Microorganismos adheridos a un medio fijo. Sistemas estratificados. Combinación.</p>
<p>Lagunas de Estabilización.</p>	

En el tratamiento anaerobico, los microorganismos producen metano, así como CO₂. En un ambiente anaerobio, la actividad de los microorganismos depende del oxígeno de la materia orgánica o de ciertos compuestos inorgánicos, como nitritos, nitratos y sulfatos. Muchas bacterias pueden utilizar nitritos y nitratos en lugar de oxígeno disuelto, los sulfatos actúan como fuente de oxígeno para un grupo muy específico de bacterias.

En cada uno de los procesos, el material celular y ciertos materiales no degradables, sedimentan en el agua formando lodos.

En la tabla 18 se presentan los sistemas de tratamiento biológicos utilizados en la estabilización de materia orgánica.

Tabla 18.

Sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales.

1.- Sistemas Aerobios.

a) Microorganismos en suspensión.

- Lodos Activados : Proceso convencional.
 Completamente mezclado.
 Aeración por etapas.
 Estabilización por etapas.
 Aeración extendida.
 Zanjas de oxidación.
 Aeración decreciente.
 Oxígeno puro.
 Kraus

- Lagunas Aireadas.

b) Microorganismos adheridos a un medio fijo.

- Filtros rociadores
- Biodiscos.

c) Combinación.

- Medio granular fluidizado.
- Torres de madera resistente.
- Lodos activados en medio fijo.

2.- Sistemas Anaerobios.

a) Microorganismos en suspensión.

- Tratamiento por contacto anaeróbico.
- Lecho fluidizado.

b) Microorganismos adheridos a un medio.

- Filtro anaeróbico.

c) Combinación.

- Medio granular fluidizado.

Las reacciones biológicas pueden dividirse en dos fases: Síntesis y Oxidación.

La fase de síntesis supone la conversión de una parte de la materia orgánica en nuevo protoplasma celular. Además del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, el protoplasma contiene algunos elementos como fósforo, azufre, sodio, potasio, magnesio, calcio, hierro y molibdeno. La mayoría de estos elementos se encuentran sólo en trazas en el agua residual; comunmente suele faltar nitrógeno y fósforo por lo tanto es necesario adicionarlos al agua residual para garantizar un buen desarrollo del proceso. Las cantidades precisas de nutrientes dependen de las características del agua residual y del tipo de tratamiento biológico empleado.

Las características químicas de los contaminantes en las aguas residuales determinan los organismos que pueden desarrollarse en un sistema de tratamiento biológico. Los microorganismos primarios son las bacterias y otro tipo de plantas unicelulares que pueden metabolizar la mayoría de los materiales orgánicos.

Debe considerarse también a los hongos, plantas multicelulares sin clorofila, que en determinadas condiciones ambientales, desempeñan un papel importante en la estabilización de la materia orgánica. Los hongos pueden predominar sobre las bacterias a pH bajos (menores a 6) cuando existe un déficit de nitrógeno o la concentración de oxígeno disuelto es baja (0-0.5 ppm). Los hongos son capaces de metabolizar casi todos los compuestos orgánicos conocidos,

pero en condiciones ambientales normales de pH y temperatura, no pueden competir con las bacterias. Las algas son plantas clorofílicas más sencillas, utilizan luz solar como fuente de energía. Por sí mismas, las algas no estabilizan la materia orgánica, sino que, debido a su producción de oxígeno, ayudan a las bacterias y a los hongos a mantener un medio aerobio.

Los microorganismos, de los cuales los protozoos son los más sencillos, no obtienen suficiente materia orgánica en las aguas residuales, su actividad principal es separar el exceso de bacterias no floculadas, produciendo un efluente clarificado. Las formas superiores de microorganismos que se encuentran en los sistemas de tratamiento biológico son los rotíferos y crustáceos, que tan sólo aparecen en los sistemas muy purificados.

El suelo es la principal fuente de microorganismos capaces de estabilizar a los contaminantes orgánicos. La experiencia ha demostrado que los cultivos especiales no brindan más ventajas que las bacterias que se desarrollan por efecto de la contaminación natural. En general lo más recomendable es estimular el crecimiento de los microorganismos presentes en el agua residual. Después de varios ciclos se produce la selección adecuada, al cabo de esta predominan los microorganismos requeridos mientras los demás desaparecen.

La factibilidad para efectuar la oxidación para estabilizar la materia orgánica, reduciendo así la DBO de las aguas residuales, depende de la estructura química de las

moléculas orgánicas que deben ser atacadas, o de la biodegradabilidad de dichas moléculas. Se debe tomar en cuenta además el papel que desempeña la propia adaptación de los microorganismos al medio. En otras palabras, por medio de una aclimatación adecuada de los microorganismos puede producirse el metabolismo en presencia de sustancias que desde el punto de vista teórico, no son biodegradables e inclusive en las sustancias directamente tóxicas.

Las variables físicas y químicas más importantes en estos procesos son : temperatura, pH y la presencia de sales.

En la mayoría de las reacciones en que intervienen microorganismos, la velocidad de reacción aumenta con la temperatura hasta aproximadamente 37°C para descender a continuación al morir los microorganismos por desnaturalización de proteínas del protoplasma celular. La temperatura influye además en la concentración del oxígeno disuelto y este es inversamente proporcional a la temperatura.

El pH del medio influye no sólo sobre la velocidad de reacción, sino además los tipos de microorganismos susceptibles de sobrevivir. La mayoría de los organismos se desarrollan a un pH óptimo de aproximadamente 7.0 y experimentan ligeras variaciones para valores de pH entre 6.5 y 8.5. A ese pH óptimo las bacterias constituyen el grupo principal de microorganismos responsables de la estabilización de la materia orgánica. Las proteínas del protoplasma celular se desnaturalizan por los iones H y OH,

razón por la cuál muy pocas bacterias pueden sobrevivir a un pH inferior a 4.0 ó superior a 9.5, los hongos pueden desarrollarse fácilmente a un pH de 4.5 y predominan sobre las bacterias en medios con un valor de pH entre 4.6 y 6.0. Aparentemente este fenómeno se debe al menor contenido de proteínas en el protoplasma celular de los hongos.

En lo que respecta al contenido de sales disueltas en las aguas residuales no tóxicas para las bacterias, por regla general pueden afirmarse que los microorganismos se adaptan bien a los medios de concentraciones elevadas de sales, de hasta 3 g/l., es más empleado en filtros por goteo, parece ser que pueden tratar aguas residuales con hasta un 2 % de sales. En el proceso de lodos activados no debe sobrepasarse normalmente una concentración de sales de 8 g/l., ya que en este caso los lodos son difíciles de flocular y, en consecuencia de decantar. Además, el exceso de lodos que se somete a digestión anaeróbica crea nuevos problemas debido a que los procesos anaeróbicos son más sensibles a la presencia de sales.

Los metales pesados (hierro, aluminio, cromo, cobre y zinc) ejercen un efecto perjudicial sobre los procesos biológicos actuando sobre las enzimas catalizadoras de la síntesis de proteínas responsables del metabolismo. Los microorganismos sólo pueden tolerar concentraciones de algunos miligramos por litro. Muchos de los metales pesados tienden a formar compuestos insolubles que precipitan de la solución. Como tan sólo los iones solubles son tóxicos para

los sistemas enzimáticos bacterianos, las características químicas del medio resultan decisivas para determinar la toxicidad de los distintos metales pesados, como el hierro y aluminio se precipitan en forma de hidróxidos insolubles, las bacterias pueden tolerar concentraciones elevadas de estos elementos, sin embargo, su acción tóxica puede deberse a que los precipitados formados pueden recubrir las células e impedir el paso de nutrientes. La toxicidad del cromo depende de su estado de valencia, el cromo hexavalente soluble es tóxico, mientras que el trivalente es insoluble. La acción del cobre y el zinc está influenciada por el pH del medio ya que precipitan a valores elevados de pH.

6.2.1 Proceso de Lodos Activados.

El descubrimiento del proceso de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales fué desarrollado en Inglaterra por Ardern y Lockett que en 1914 presentaron los beneficios de retener organismos adaptados al sustrato para un tratamiento eficiente⁽¹⁴⁾. Sus trabajos experimentales consistieron básicamente en provocar el desarrollo de un cultivo de microorganismos disperso en forma de flóculos en un frasco de 2.3 litros agitado, aireado y alimentado con agua residual de Manchester, Inglaterra. En la siguiente etapa del experimento se efectuó la sedimentación de los sólidos y la decantación del clarificado, los sólidos

separados fueron mezclados nuevamente con agua residual y el proceso fué entonces repetido.

El período de aeración por lotes para conseguir la nitrificación pudo ser reducido de 5 semanas a 9 horas si el lodo acumulado de cada lote era retenido en el frasco despues de decantar el líquido nitrificado. Ellos inventaron el término de "lodo activado" para describir la masa biológica resultante.

En el proceso de lodos activados el agua residual y los microorganismos son mezclados y aireados en un tanque denominado de aeración. La continua agitación del agua en el tanque de aeración y la acción enzimática de las bacterias, favorecen la floculación de los sólidos suspendidos. Los pequeños flóculos así formados, son medios de sustentación de la flora bacteriana que forma colonias en los intersticios o huecos de cada pequeño flóculo, con lo que a medida que las bacterias se reproducen, aumenta también el volumen y peso de cada flóculo de sustentación, formando así lo que físicamente se percibe y denomina "lodos activados".

El agua residual que fluye continuamente dentro del tanque de aeración, recibe aire, el cual es introducido para mezclar el lodo biológico y proporcionar el oxígeno necesario para que los microorganismos remuevan con mayor rapidez la materia orgánica mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos.

Al contenido del tanque de aeración se le denomina licor mezclado, el cual, después de un tiempo de contacto suficiente se conduce a un clarificador denominado también sedimentador secundario donde los lodos se separan del agua residual tratada. Una parte de los lodos sedimentados es recirculada al tanque de aeración para mantener la concentración deseada de organismos, mientras que el excedente es purgado del sistema parcialmente estabilizado después de períodos variables sujetos a respiración endógena.

La fracción purgada corresponde al crecimiento del tejido celular. El tiempo que la masa biológica debe permanecer en el sistema (tiempo de retención celular) depende de varios factores como el nivel de eficiencia deseado, la estabilización requerida de la materia orgánica y a consideraciones relacionadas con la cinética de crecimiento.

En el proceso de lodos activados, la bacteria es el microorganismo de mayor importancia ya que ésta es responsable de la descomposición de la materia orgánica en el efluente.

Dentro de los géneros de bacterias que se han encontrado con más frecuencia, se encuentran⁽¹⁵⁾: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Spirillum*, *Comamonas*, *Micobacterium*, *Nocardia* y *Zooglea*; este último género se ha reportado como uno de los más importantes en la formación de flóculos. También se reporta con frecuencia, la

presencia de Nitrosomonas y Nitrobacter, que participan en la conversión de los compuestos con nitrógeno.

También se reporta una bacteria filamentososa asociada generalmente a los problemas de abultamiento en el lodo que se conoce como : Sphaerotillus notans.

La población de hongos, en general es baja en el sistema de lodos activados, y entre los géneros de hongos se han encontrado los siguientes : Trichoderma, Geotrichum, Cladosporium, Candida, Rhodotorula y Torulopsis. En estos tres últimos géneros, se ha demostrado que presentan actividad floculante.

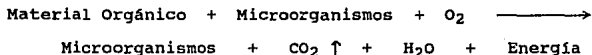
Dentro de los predadores, se ubican a los protozoarios, que se encargan de ejercer mecanismos de presión que mantienen en equilibrio la densidad de las poblaciones bacterianas y dentro de los parásitos, así como el grupo de organismos no deseados, se encuentran todos aquellos que pueden causar problemas de abultamiento en el lodo.

Entre los protozoarios, se han detectado representantes de los tres grupos más comunmente conocidos : Rhizopodos, Flagelados y Ciliados de vida libre. Adicionalmente, se reporta la presencia de Invertebrados, Rotíferos y Nematodos.

Las funciones de todos estos microorganismos, estan determinados por el efecto que ejercen los factores ambientales tales como : oxígeno, temperatura y pH que pueden favorecer o inhibir el crecimiento de ciertas poblaciones.

Mecanismos básicos del proceso de lodos activados⁽¹³⁾.

El mecanismo básico del proceso de lodos activados esta representado por la siguiente reacción biológica :



El proceso de remoción de contaminantes involucra : microorganismos que utilizan la materia orgánica como una fuente de alimento para producir más microorganismos los cuales son finalmente separados; gas dióxido de carbono que es dispersado en la atmósfera; agua la cual sale como una parte del efluente final; y energía la cual los microorganismos utilizan para mantener sus sistemas de vida (por ejemplo, reproducción, digestión, movimiento, etc.). En términos simplistas, las formas de los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual son convertidos a microorganismos , los cuales son subsecuentemente separados del agua tratada.

En el proceso por el cual los microorganismos degradan las sustancias orgánicas complejas es un proceso acumulativo. El agua residual conteniendo los orgánicos es mezclada con los microorganismos en presencia de oxígeno disuelto por un período suficiente de tiempo para permitir que los microorganismos degraden los orgánicos complejos presentes.

Inicialmente, un tipo de microorganismos ataca una parte de la estructura compleja de un material orgánico, y otro tipo de microorganismos ataca las partes restantes. A medida que los microorganismos asimilan el material orgánico, ellos también utilizan el oxígeno disuelto en el agua residual.

Los primeros microorganismos digieren esa porción de los orgánicos que ellos han absorbido a través de su pared celular y producen ciertos productos de desecho. Estos productos de desecho son después usados como una fuente de alimento por otros microorganismos los cuales, producen productos de desecho que son subsecuentemente usados como alimento por otros microorganismos. Este proceso de biodegradación acumulativo continúa hasta que el orgánico complejo original es completamente degradado y asimilado por la población biológica. El proceso de degradación se ilustra en la fig. 8.

Las reacciones básicas que simultáneamente ocurren en el proceso de lodos activados están gráficamente representadas en la fig. 9. La gráfica describe un sistema "batch" y presentan que, inicialmente, la concentración de materia orgánica en el agua residual cruda es muy alta,

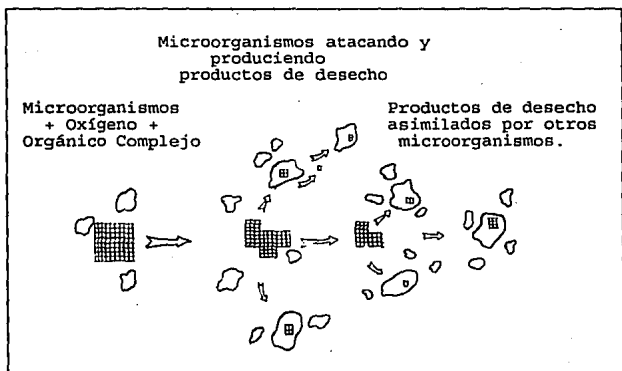


Fig. 8

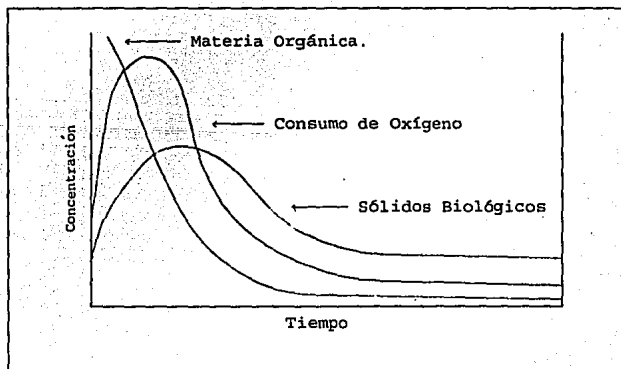


Fig 9

mientras que la concentración de microorganismos y la tasa a la cual el oxígeno esta siendo usado son muy bajos. Sin embargo, tan pronto como los microorganismos comienzan a atacar y asimilar la materia orgánica, empiezan a usar oxígeno y a reproducir más células; consecuentemente, la tasa de consumo de oxígeno y la concentración de sólidos biológicos en el sistema aumenta rápidamente. Como la materia orgánica es degradada, la cantidad de alimento disponible para los microorganismos rápidamente disminuye y comienzan a morir de hambre. Por consiguiente, como la concentración de materia orgánica disminuye, el número de microorganismos en el sistema y la tasa a la cual utilizan el oxígeno correspondientemente disminuye. En un sistema de flujo continuo, los microorganismos son continuamente alimentados de material orgánico y, por consiguiente, continuamente reproducen más células y mantienen una alta tasa de consumo de oxígeno.

La población biológica utiliza oxígeno para los siguientes tres propósitos :

- 1.- Convertir la materia orgánica a dióxido de carbono, agua, y energía.
- 2.- Producir nuevas células.
- 3.- Degradar otros microorganismos tan pronto como ellos mueren.

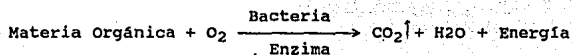
Estas reacciones biológicas están presentadas en la fig. 10. El oxígeno total usado en las Ecuaciones 1, 2, y 3 es la DBO. Estas tres reacciones ocurren simultáneamente en diferentes grados en el proceso de lodos activados :

1.- En la Ecuación 1, los microorganismos están usando materia orgánica como una fuente de alimento (más oxígeno) para mantener sus procesos de vida. Durante esta reacción, dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), y energía (en forma de compuestos bioquímicos) son producidos.

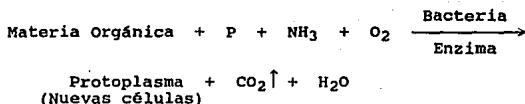
2.- La energía producida durante la Reacción 1 es usada por los microorganismos como se muestra en la Ecuación 2 para producir nuevos microorganismos.

3.- La Ecuación 3 describe la "muerte" de los microorganismos y subsecuentemente la descomposición por otros microorganismos.

1.- Conversión de materia orgánica:



2.- Reproducción de nuevas células :



3.- Degradación de otras células :

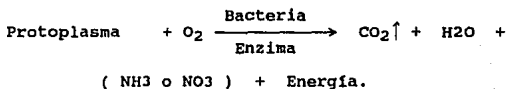


Figura 10

Formación del lodo activado.

El lodo activado es formado en tres pasos diferentes :

- 1.- Paso de transferencia.
- 2.- Paso de conversión.
- 3.- Paso de floculación.

Todos estos pasos ocurren simultánea y continuamente en el tanque de aeración, algunos se extienden, en el clarificador secundario.

Durante el paso de transferencia, los orgánicos solubles (disueltos) son absorbidos a través de la pared celular de los microorganismos y en la célula donde el material es degradado (digerido). Las partículas sólidas (insolubles) son adsorbidas sobre la pared celular y finalmente degradadas y después son absorbidas a través de la pared celular. La adsorción del material ocurre relativamente rápido, usualmente en 15 a 30 minutos; la transferencia del material soluble a través de la pared celular y el proceso de digestión toman mucho más tiempo. Cuando los sólidos son adsorbidos sobre la pared celular, los microorganismos excretan químicos los cuales ayudan a disolver la materia sólida y transformar esta en una forma soluble de modo que pueda ser fácilmente transferida a través de la pared celular de la misma manera como los contaminantes solubles.

El paso de conversión es el segundo enlace para la formación de lodo activado. Una vez que los orgánicos han sido asimilados por los microorganismos, el material sufre un proceso de conversión. El proceso de conversión incluye síntesis y oxidación. La síntesis simplemente se refiere a la reproducción de más células, y la oxidación involucra la formación de CO_2 , H_2O y energía. Estas dos reacciones componen el proceso metabólico de los microorganismos. Es deseable tener una gran población biológica en el sistema de

tratamiento para que, mientras algunos microorganismos estan digiriendo lo que ellos ya han consumido, otros que han usado su fuente de alimento interno estan degradando orgánicos en el agua residual.

Para degradar los orgánicos, los microorganismos producen químicos llamados enzimas (catalizadores biológicos). Estas enzimas estan presentes dentro de los microorganismos y en el agua alrededor de ellos. Orgánicos diferentes requieren enzimas específicas para degradarlos así la población biológica puede convertirlos a más microorganismos, CO_2 , y H_2O . Por lo cual un sistema biológico debe estar aclimatado. Durante el arranque de una planta, los microorganismos aprenden a generar las enzimas que ellos necesitan para degradar los orgánicos específicos presentes en el agua residual. Los microorganismos deben ser completamente aclimatados al agua residual antes de comenzar a producir esos químicos en las cantidades requeridas.

El tercer paso en la formación de lodo activado es el paso de floculación. A medida que los microorganismos son mezclados en el tanque de aeración, ellos chocan con otros microorganismos y se adhieren para formar partículas más grandes llamadas flóculo. Esto es deseable cuando las células individuales pequeñas no sedimentan bien; sin embargo, cuando muchas de ellas chocan y se adhieren unas con otras, el gran flóculo formado sedimenta rápidamente. A medida que estas células son continuamente mezcladas en el tanque de aeración, ellas chocan con el material suspendido y coloidal

(contaminantes insolubles). Este material se adhiere a los microorganismos, causando que el tamaño del flóculo crezca. Eventualmente, todos los sitios sobre una célula son ocupados y no puede adherirse más material. Los microorganismos, sin embargo, son continuamente alimentados sobre éste material, de ese modo reabriendo sitios por más material para adherirse al flóculo; así, los microorganismos constantemente regeneran sitios abiertos sobre el flóculo.

Cinética del proceso de lodos activados.

La cinética del proceso de lodos activados se estudia desde el punto de vista del crecimiento de los microorganismos, el cual involucra cuatro fases.

La población microbiológica en un sistema de lodos activados "batch ó flujo piston" pasa a través de cuatro distintas fases de crecimiento. Estas fases son ilustradas gráficamente en la fig. 11.

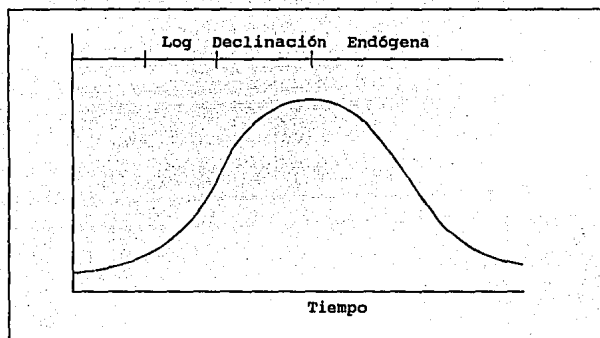


Fig. 11

Inicialmente la reproducción de microorganismos es baja, y el número de células se incrementa gradualmente. Durante ésta primera fase de crecimiento, los microorganismos son aclimatados a su medio ambiente y empiezan a producir las enzimas que necesitan para degradar los orgánicos presentes en el agua residual.

Siguiendo el período de aclimatación inicial, los microorganismos entran a una fase de crecimiento logarítmico. Durante ésta segunda fase de crecimiento, hay amplio alimento (material orgánico) disponible, y la velocidad de crecimiento de los microorganismos se incrementa significativamente. Sin embargo, si la velocidad de crecimiento durante ésta segunda fase es demasiado alta, las células no forman un buen

sino que se quedan dispersadas, lo cual da como resultado una pobre sedimentación en el clarificador y una alta concentración de sólidos suspendidos en el efluente final de la planta. Además si es mucho más el alimento que los microorganismos pueden asimilar, la DBO del efluente será alta hasta que se tenga establecida una adecuada población biológica.

En la declinación de la fase de crecimiento la cantidad de alimento disponible por célula disminuye, causando una baja velocidad de crecimiento. No obstante durante ésta fase, los microorganismos tienden a unirse más con otros y la formación es un buen flóculo, dando como resultado una mejor sedimentación y un rebose (derrame) limpio en el clarificador.

La última fase del crecimiento, la fase de crecimiento endógena; es caracterizada por ser pequeña o no tener alimento disponible para los microorganismos, y, consecuentemente, una declinación en el número de microorganismos presentes en el sistema.

Una vez que los microorganismos han consumido todo el alimento almacenado en sus cuerpos, ellos mueren y abren una grieta (un proceso, llamado lisis). Cuando ésto sucede, su contenido interno llega a ser una fuente de alimento para otras células. Eventualmente si no hubiera alimento necesario el número de microorganismos presentes disminuiría sustancialmente y los restantes finalmente morirían.

Por esta razón, los digestores aerobicos (los cuales pueden ser considerados como una extensión del proceso de lodos activados) son operados en la fase de crecimiento endógena para reducir la cantidad de lodos que más convenga. Los microorganismos en la fase de crecimiento endógena tienen una baja de velocidad de crecimiento, un alto contenido inerte, son densos, y rápida sedimentación. Sin embargo, debido a sus propiedades de rápida sedimentación, sólidos finos (coloides) son llevados a fuera sin ser filtrados como el flóculo biológico sedimentado, resultando un sobrenadante turbio que presenta una alta concentración de sólidos suspendidos.

En un proceso de lodos activados de mezcla completa los microorganismos permanecen en la fase de crecimiento logarítmico y se reproducen a una velocidad constante mientras que las características (por ejemplo, tipo, tasa de alimento y concentración) de la fuente de alimento permanescan constantes. Si la velocidad de alimento proporcionado aumenta ó disminuye, la velocidad de crecimiento de los microorganismos también aumenta ó disminuye respectivamente. Una velocidad de crecimiento que es demasiado alta ó demasiado baja arroja problemas de sedimentación como los ya descritos.

De las cuatro etapas que involucra el crecimiento de los microorganismos tres son las que se analizan desde el punto de vista cinético en el sistema "batch".

Dichas etapas se resumen y analizan en los siguientes puntos:

- 1.- Crecimiento logarítmico.
- 2.- Decrecimiento del crecimiento.
- 3.- Respiración endógena.

1.- Crecimiento logarítmico.

- La rapidez con la que crece la masa activa es proporcional a la masa activa.
- El crecimiento de los microorganismos es directamente proporcional al decremento de la comida.
- La rapidez con que se incrementa la masa activa de microorganismos es proporcional a la rapidez con que se consume el oxígeno utilizado en síntesis.

2.- Decrecimiento del crecimiento.

- La comida es limitante.
- El crecimiento biológico es proporcional a la rapidez con que se consume el alimento y por lo tanto el consumo de comida es proporcional a la cantidad de comida remanente.
- Cuando la comida es limitante, se inicia la respiración endógena afectando el crecimiento de los microorganismos activos.

3.- Respiración endógena.

- La concentración de comida se encuentra en el límite inferior y por lo tanto se puede considerar una transformación nula de la comida.
- La masa de microorganismos se ve afectada sólo por la respiración endógena.
- La masa endógena se incrementa proporcionalmente a la disminución de la masa activa.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

7.0 SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Lodos Activados (11,12,13,23).

7.1 Proceso Convencional

Denominado convencional por ser el esquema originalmente desarrollado para el tratamiento de aguas residuales, éste proceso que en forma esquemática se muestra en la fig. 12, consiste de un tanque de aeración o reactor biológico, seguido de un clarificador secundario y una línea de retorno de lodos. En el reactor el modelo de flujo es del tipo pistón con recirculación celular, tanto el agua residual afluyente sedimentada como el lodo recirculado entran al reactor por un extremo y son aireados durante un período de unas 6 horas. Ambos son mezclados por la acción de la aeración mecánica o por difusores de aire que permanece constante conforme el licor mezclado se desplaza a lo largo del tanque. Durante éste período se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. El licor mezclado es conducido al clarificador secundario donde se hace sedimentar y el lodo activado separado se recircula al reactor biológico en una proporción de aproximadamente 25 - 50 % respecto al caudal del influente con el fin de mantener una concentración uniforme (1500-3000 mg/L como SSVLM). Como el lodo activado crece gradualmente, es necesario purgar el exceso, en la mayoría de los sistemas

de lodos activados la purga se lleva a cabo en forma continua a un caudal relativamente pequeño. El tiempo de retención celular se establece entre 3 y 7 días, por lo que es necesario una estabilización posterior de los lodos activados de desecho.

Aunque muy eficiente, al proceso convencional se le identifican dos problemas fundamentales, el primero relacionado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque, como se muestra en la fig. 13, donde se observa que las mayores demandas de oxígeno se presentan al inicio del tanque de aeración, disminuyendo sensiblemente hacia el final del mismo cuando se alcanzan las mínimas concentraciones de comida remanente. Esto ocasiona en algunos casos el agotamiento del oxígeno disuelto al inicio del tanque y un desperdicio de energía al final del mismo. Esta situación da origen al sistema denominado aeración graduada.

El segundo problema que se identifica es cuando se tienen aguas residuales con influencia industrial, ya que concentraciones de elementos tóxicos entran en contacto con un pequeño volumen de licor mezclado, resultando en muchas ocasiones niveles suficientemente altos para provocar la muerte de los microorganismos. En respuesta a esta situación se desarrolló el proceso completamente mezclado.

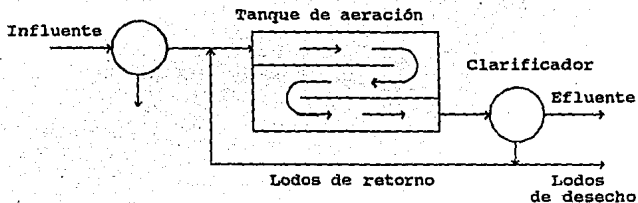


Fig. 12. Proceso de lodos activados convencional.

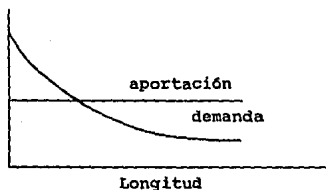


Fig. 13. Demanda de oxígeno en el proceso de lodos activados convencional.

7.2 Completamente Mezclado.

El desarrollo del proceso de lodos activados completamente mezclado obedece principalmente a disminuir las cargas puntuales tanto de materiales tóxicos como de cargas orgánicas que pudieran sobrepasar la capacidad de asimilación de un reactor en flujo pistón. En la fig. 14, se muestra en forma esquemática el proceso de lodos activados completamente mezclado.

En esta modificación el influente y el lodo recirculado son combinados y después introducidos en diferentes puntos del tanque de aeración por un canal central, el licor aireado sale del reactor por los canales de efluente ubicados en ambos lados del tanque de aeración. Las concentraciones típicas de SSVLM van de 2000-4000 mg/L.

El empleo de aireadores mecánicos superficiales se adecua más a estas condiciones de operación, aunque la aeración por difusión es también empleada tratando de provocar las condiciones más cercanas a la mezcla completa. El oxígeno alimentado y la demanda de oxígeno son uniformes a lo largo de todo el reactor como se indica en la fig. 15.

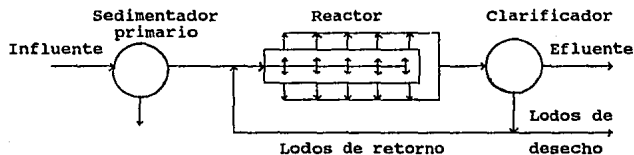


Fig. 14. Proceso de lodos activados completamente mezclado.

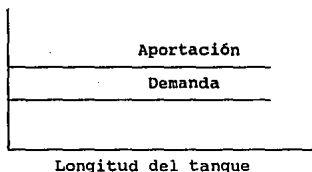


Fig. 15. Demanda de oxígeno.

7.3 Aeración Graduada

En esta variante del proceso de lodos activados se trata de realizar la aeración del licor mezclado de acuerdo con la demanda de oxígeno, conforme el licor atraviesa el tanque de aeración. Su uso está muy extendido y en un sentido estricto, se trata en realidad de una modificación del proceso convencional. En la fig. 16, se muestra un esquema del proceso.

La demanda de oxígeno es muy grande en la entrada del tanque de aeración donde el influente y el lodo activado de retorno entran en contacto. Los difusores se colocan a intervalos iguales para lograr una elevada tasa de oxigenación y satisfacer así la demanda. A medida que el licor mezclado atraviesa el tanque de aeración, tiene lugar la síntesis de nuevas células, aumentando el número de microorganismos y disminuyendo la concentración de alimento disponible. Ello da como resultado un menor valor de la relación alimento/microorganismos y un descenso en la demanda de oxígeno. El espaciamiento entre los difusores se aumenta entonces hacia la salida del tanque a fin de reducir la tasa de oxigenación. La menor oxigenación significa que se necesita menos aire, por lo que se reducen el tamaño de los aireadores y por lo tanto disminuyen los costos iniciales y de operación.

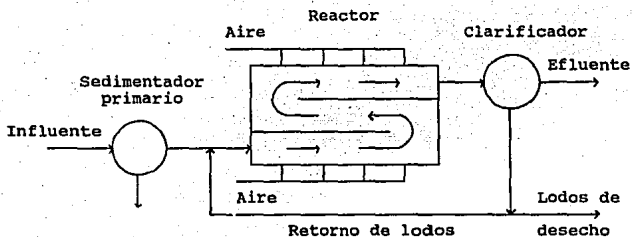


Fig. 16. Aeración Graduada.

7.4 Aeración Escalonada.

El proceso de aeración escalonada es una modificación del proceso convencional de lodos activados en el que se introduce el agua residual en distintos puntos del tanque de aeración para igualar la relación F/M en todo el tanque. El proceso fué desarrollado por Gould y se usó por primera vez en la planta de Tallmans Island, New York, en 1939⁽²²⁾.

El tanque de aeración se subdivide por medio de deflectores en canales paralelos. Cada canal es una fase ó escalón individual y las distintas fases se conectan entre si en serie. En la fig.17 se presenta un diagrama típico del proceso.

En la aeración escalonada la demanda de oxígeno se distribuye más uniformemente a todo lo largo del tanque de aeración, como se muestra en la fig. 18, dando como resultado una mejor utilización del oxígeno suministrado. La

introducción del agua residual en diferentes puntos consigue que el lodo activado tenga elevadas propiedades de adsorción, de tal forma que la materia orgánica soluble es eliminada en un periodo de contacto relativamente corto.

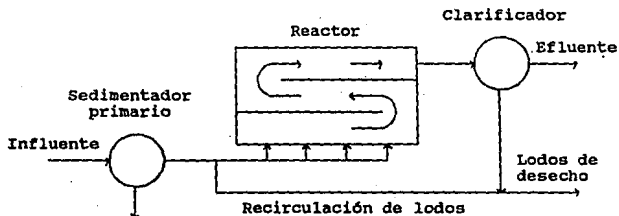


Fig. 17. Aeración Escalonada.

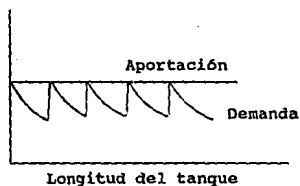


Fig. 18. Demanda de Oxígeno.

7.5 Estabilización por Contacto.

En el proceso de estabilización por contacto se aprovecha la capacidad de biosorción de los lodos activados, se ha postulado que la eliminación de la materia orgánica se lleva a cabo en dos etapas. La primera es la fase de biosorción que requiere de 20 a 40 minutos y durante la misma la mayor parte de la materia orgánica coloidal, disuelta y finamente suspendida se biosorbe en el lodo activado. En la segunda etapa se produce la oxidación y la materia orgánica biosorbida se asimila metabólicamente.

El agua residual sedimentada se mezcla con el lodo de retorno y se somete a aeración en el tanque de contacto de 20 a 40 min., durante éste período la materia orgánica se biosorbe en el flóculo de lodo. A continuación se separa el lodo del efluente tratado por sedimentación y el lodo activado de retorno es aireado de 1.5 a 5 horas en un tanque de aeración. Durante éste período la materia orgánica biosorbida se utiliza para la producción de energía y de nuevas células. En la fig.19 se muestra un esquema del proceso.

El volumen de aeración necesario es aproximadamente del 50 % del de una planta de aeración convencional o graduada. Las eficiencias de remoción son generalmente más bajas que en el proceso convencional de lodos activados, pero podría fácilmente alcanzar remociones de 85 - 90 % de la DBO. En algunos casos se prescinde de la sedimentación primaria. La concentración de SSLM que se manejan en este proceso son :

Fosa de contacto 1000-3000 mg/L.
 Fosa de estabilización 4000-10000 mg/L.

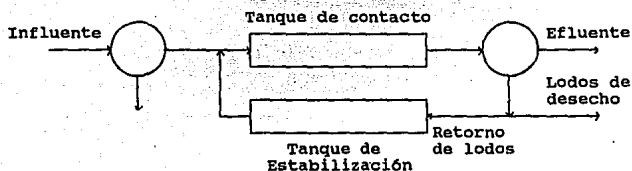


Fig. 19. Estabilización por Contacto.

7.6 Aeración Extendida.

Este proceso también conocido como de oxidación total, es una modificación del proceso de lodos activados de mezcla completa. En este proceso se trabaja en la zona de respiración endógena de la curva de crecimiento, que requiere una carga orgánica relativamente pequeña y períodos de aeración largos, que varían desde 8 hasta 24 horas. La idea fundamental en la aeración extendida es minimizar la cantidad de lodo en exceso. Esto es conseguido incrementando el tiempo de residencia, como resultado, el lodo degradable formado es consumido por respiración endógena. La concentración de SSVLM es de 3000-5000 mg/L.

La principal característica de éste sistema es que opera con tiempos de retención celular prolongados, normalmente entre 15 y 20 días lo que provoca que los lodos generados en plantas de éste tipo estén prácticamente

estabilizados disminuyendo los problemas de disposición final.

El proceso de aeración extendida ha sido aplicado principalmente en el tratamiento de aguas residuales cuando el flujo es menor de 2000 gal/día. Esto incluye aguas de desecho doméstico para comunidades pequeñas, departamentos, escuelas, y algunos desechos industriales. Bien diseñados y operados, no deben presentar problemas de olor y así pueden estar localizados dentro de áreas pobladas.

Se prescinde en éste proceso de la sedimentación primaria a fin de simplificar el tratamiento y eliminación del fango. La fig. 20 ilustra una unidad de aeración extendida convencional, el influente pasa primero a través de una rejilla para remover los sólidos suspendidos grandes que permiten proteger el aerador de daños causados por obstrucciones.

Debido al hecho de que los lodos están en un estado de estabilización, pueden ser retornados al medio ambiente esparciendolos en terrenos de cultivo sin provocar problemas ambientales.

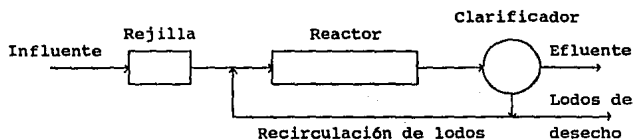


Fig 20. Aeración Extendida.

7.7 Zanjas de Oxidación.

Este proceso se inició en algunas pequeñas ciudades de Holanda, y encontró aplicación en muchas pequeñas localidades Europeas y posteriormente en Estados Unidos. La denominación de zanjas de oxidación se deriva de la forma del reactor de aeración.

El proceso biológico en si, es una variante del denominado aeración extendida, por lo tanto comparte las principales características de éste como son la de no requerir, sedimentación primaria y la de permitir mediante largos tiempos de retención celular, la estabilización de los lodos, los cuales no requieren de procesos de digestión previos a su disposición final. La fig. 21 muestra un esquema típico de la zanja de oxidación.

El agua residual que precisamente ha pasado a través de una reja entra en el canal, y es aireada por el rotor consistente en un cepillo Kessener modificado en sentido transversal al canal para proporcionar la circulación del agua a una velocidad de 0.3-0.6 m/seg. y la aeración. Un rotor típico tiene un diámetro de aproximadamente 30 in., y gira a 75 rpm., tiene una profundidad de inmersión de 6 in. y una capacidad de oxigenación del orden de 6 lb/hr. El canal tiene una profundidad de aproximadamente 1 m.

A parte de las dos ventajas mencionadas, el proceso de zanjas de oxidación ha presentado otras de gran importancia como son :

a) La utilización de sistemas de aeración con bajos requerimientos de energía.

b) Remoción eficiente de nitrógeno. Esto se basa principalmente en el proceso biológico de nitrificación-denitrificación, el cual puede ser parcialmente incrementado al controlar la transferencia de oxígeno en el reactor. Originalmente los sistemas se diseñaron para que operaran en condiciones aerobias con ó sin recirculación de lodos. Esta condición de aerobiosis aunada a los largos tiempos de retención celular (20 a 25 días) provoca la proliferación de organismos nitrificantes con la consecuente transformación de nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos. Las condiciones aerobias no se conservan en todo el reactor provocando problemas de septicidad que se consideran negativos. La respuesta a esta solución es la de incrementar la potencia de los aireadores.

Sin embargo, en algunos casos se observa que la parcial anaerobiosis en el reactor, provoca el proceso de denitrificación con el consecuente desprendimiento del gas nitrógeno a la atmósfera. De esta forma el sistema tuvo aceptación como un proceso que estimula la remoción de nitrógeno.

La principal desventaja del proceso es la de requerir grandes áreas y por la geometría del reactor su utilización se ha restringido a gastos inferiores a 500 l/seg. Otro problema importante que presenta el proceso estriba en que los lodos biológicos con largos tiempos de retención

celular, generalmente presentan problemas de sedimentabilidad. Esta característica ha sido atribuida a la proliferación de crecimiento filamentosos y a una densidad relativamente baja de los flóculos formados.

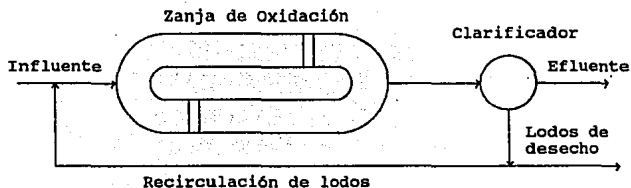


Fig. 21. Zanja de Oxidación

7.8 Aeración con Oxígeno Puro.

A partir de 1970 se considero el uso de oxígeno puro en lugar de aire en el proceso de lodos activados. La necesidad de recircular el oxígeno no aprovechado por los microorganismos obliga al empleo de tanques cerrados con mínima posibilidad de interconexión con el aire ambiente. En la fig. 22 se muestra esquemáticamente un sistema de oxígeno puro que utiliza una serie de pequeños reactores de mezcla completa.

De éste proceso se conocen varias ventajas, como son : mayor actividad de las bacterias, menor volumen de lodo, reducido volumen del tanque de aeración y mejores características de sedimentación del lodo.

El contenido de oxígeno disuelto puede llegar, e incluso sobrepasar, sin dificultad alguna a 6-8 mg/L, valores que corresponderían a un gasto prohibitivo de energía en la aeración clásica. Este elevado contenido de oxígeno disuelto favorece la oxigenación en el seno del flóculo bacteriano, incluso en las suspensiones más concentradas. La concentración de SSVLM en éste proceso va de 6000-8000 mg/L.

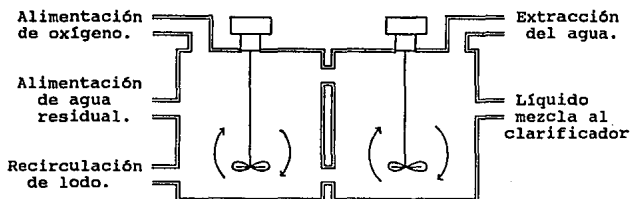


Fig. 22. Aeración con Oxígeno Puro.

7.9 Lagunas de Aeración.

La variante conceptual que considera microorganismos en suspensión y que difiere de lodos activados por no contar con recirculación de biomasa son las lagunas aireadas. En este sistema las aguas residuales entran normalmente como agua cruda directamente al tanque de aeración donde entran

en contacto con una masa biológica reducida y la agitación constante promueve el crecimiento biológico, generandose la transformación de materia orgánica en forma soluble a materia orgánica en forma suspendida que puede ser removida con facilidad.

Una laguna de aeración, es un recipiente de 8-16 ft de profundidad y con un área de varios acres. La fig. 23 muestra la configuración óptima de una laguna : una laguna aerobica seguida por una facultativa y después una laguna de pulimiento si es necesario eliminar del efluente, los sólidos suspendidos.

En una laguna facultativa, sólomente se agita la superficie y algunos de los sólidos sedimentados en el fondo. Aquí éstos son descompuestos por organismos anaerobicos; el metano y otros productos son oxidados por los organismos aerobicos del agua circundante.

El tiempo de retención es de 1-3 días. Las lagunas facultativas remueven la DBO residual y la mayoría de los sólidos suspendidos con un tiempo de retención de 3-6 días.

La ventaja de éste proceso es no requerir estructuras costosas para sedimentación ni equipos para recirculación de lodos lo que permite que generalmente los tanques se formen con muros de tierra compactada, sin embargo, el aspecto negativo de éste proceso estriba en los altos requerimientos de energía necesaria para mantener en suspensión a los flóculos biológicos en tanques de estas proporciones. En

algunos casos se permite la sedimentación de los sólidos suspendidos utilizando menor potencia de aeración lo que reduce los costos pero así mismo reduce las eficiencias de tratamiento y en estos casos se requieren tiempos de retención que normalmente son superiores a siete días.

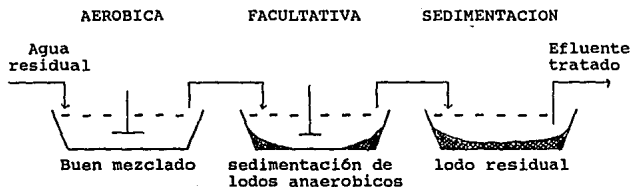


Fig. 23. Laguna de Aeración.

7.10 Biodiscos.

Un biodisco, está formado por numerosos discos de plástico de gran tamaño, montados sobre un eje rotatorio con aproximadamente 40 % del volumen sumergido en el tanque de agua residual (como se ve en la fig. 24). Los discos soportan una película de microorganismos de 1-4 mm. Mientras que el biodisco acarrea cierta cantidad de agua residual hacia el aire, permite a los microorganismos, oxidar los compuestos orgánicos solubles. Las fuerzas de arrastre del

agua eliminan el exceso de biomasa; ésta es recolectada en el fondo de un clarificador.

Los discos generalmente son de polietileno de alta densidad, teniendo un área de contacto de aproximadamente $37 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$.

Una unidad simple, puede medir tanto como 12 ft de diámetro y 25 ft de longitud, y puede contener hasta 100,000 ft^2 de superficie proporcionada por cientos de discos. Un sistema de biodisco, usualmente consiste de 2-4 biodiscos en serie.

Debido a que los biodiscos usan menos energía que el proceso de lodos activados, es más atractivo económicamente.

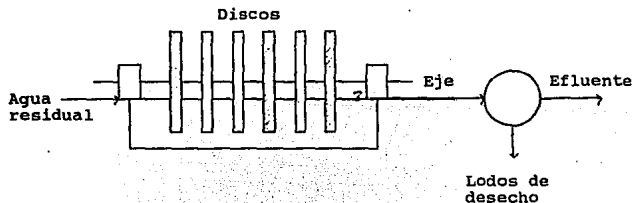


Fig.24. Biodiscos.

7.11 Filtros por Goteo.

Los filtros por goteo son procesos aerobios de tratamiento en cultivo fijo. El filtro por goteo moderno consiste en un lecho formado por empaques de plástico al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual (como en la fig 25). El medio filtrante alcanza profundidades del lecho de 9 a 15 m.

El filtro generalmente es circular y el líquido a tratar se rocía por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio, ó por medio de boquillas de pulverización fijas. Los filtros están provistos de drenaje en la parte inferior para recoger el agua tratada y favorecer la aeración.

La materia orgánica del agua residual es degradada por una población de microorganismos adheridos al medio. Dicha materia orgánica es adsorbida sobre la película biológica, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar en todo el espesor de la película. Por lo tanto, se establece un ambiente anaerobio cerca de la superficie del medio.

Conforme la película aumenta de espesor, la materia orgánica adsorbida es metabolizada antes de alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante. Al no disponer de una fuente orgánica externa, los microorganismos cercanos a la superficie del medio

arrastra la película y comienza el crecimiento de otra nueva.

Los filtros por goteo no pueden remover económicamente más del 85 % de la DBO, pero en general éstos son fáciles y menos costosos de operar que el proceso de lodos activados.

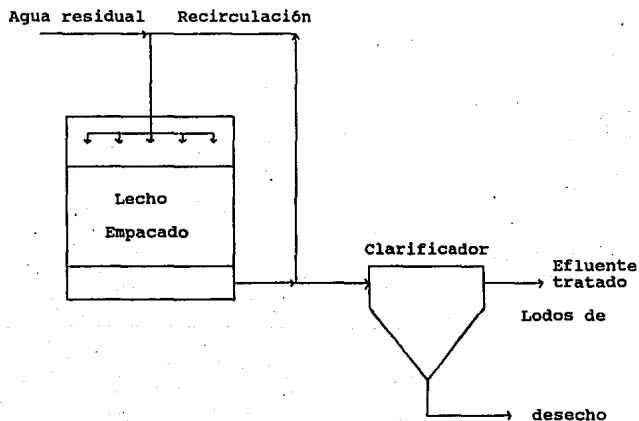


Fig. 25. Filtro por Goteo.

8.0 SISTEMA SBR

''Secuencing Batch Reactor'', (SBR) Reactor de Secuencia por Lotes

8.1 Perspectiva Historica.

La tecnología SBR no es nueva, de hecho, el precursor de los diferentes, ahora familiares, procesos de lodos activados de flujo continuo fué un sistema de llenado y vaciado, operado en un proceso por lotes (batch).

En 1914, Ardern y Lockett⁽¹⁴⁾ fueron los primeros en presentar los beneficios de retener organismos adaptados al sustrato para un tratamiento eficiente en un sistema ''batch''. Sin embargo, muchas dificultades fueron asociadas con la operación de éstos sistemas de llenado y vaciado, la mayoría como resultado del proceso, ya que requerían de un alto grado de atención manual del operador. Como resultado de esto, los sistemas ''batch'' nunca llegaron a ser populares en plantas de tratamiento municipal a gran escala.

En 1920, cuando las grandes plantas de tratamiento estuvieron siendo construídas, los sistemas ''batch'' ya no fueron considerados viables. El nacimiento y muy difundido uso de los sistemas de flujo continuo resultado primeramente de condiciones operacionales y no de alguna debilidad relacionada al proceso de los sistemas ''batch''.

El primer resurgimiento de notable interés en el tratamiento biológico 'batch' ocurrió en Estados Unidos a principios de los 1950's en el Laboratorio de Investigación Regional Oriental por Hoover, Porges y sus colaboradores⁽¹⁴⁾. Este resurgimiento fué de vida corta y estuvo dirigido hacia la industria lechera.

El segundo gran resurgimiento ocurrió en los 1970's en la Universidad de Notre Dame por Irvine, Davis y Busch^(16,17) quienes describieron y desarrollaron la operación de los reactores de secuencia por lotes (SBR), siguieron una terminología uniforme y unieron los conceptos 'batch' con modernas estrategias de control.

Los tiempos han cambiado. Nuevos dispositivos tales como válvulas motorizadas, válvulas actuadas neumáticamente, válvulas solenoides, sensores de nivel, medidores de flujo, controles de tiempo automáticos y microprocesadores o controladores de proceso han sido desarrollados y están rutinariamente disponibles. Es importante, por consiguiente, que la aplicación de la tecnología SBR, abandonada por la no disponibilidad de estos equipos sea revitalizada.

A principios de los 1980's la Agencia de Protección Ambiental (EPA) intentó revivir el interés por esta tecnología y gastó considerables sumas de dinero evaluando el proceso sobre una planta de tratamiento de lodos activados SBR de dos tanques, sobre un período de 20 meses en Culver, Indiana⁽¹⁸⁾.

Desde entonces el SBR ha revivido considerable atención en los Estados Unidos, Oeste de Alemania, Canada y Japon^(19,20).

8.2 Descripción del Sistema SBR.

El SBR es un sistema de lodos activados de llenado y vaciado. Cada tanque en el sistema SBR es llenado con agua residual durante un período discreto de tiempo y después operado en un modo de tratamiento "batch". Después del tratamiento, el licor mezclado se deja sedimentar por una predeterminada cantidad de tiempo, posteriormente el sobrenadante clarificado es retirado del tanque. Durante el tratamiento, sedimentación y retiro de agua residual es dirigido a otro tanque SBR en el sistema, como en una configuración de tanques múltiples, ó a un tanque de almacenamiento en una configuración de un sólo tanque SBR.

Un ciclo para un SBR típico está dividido en cinco modos básicos de operación o períodos, cada uno de los cuales es nombrado de acuerdo a su función primaria. Los períodos son : llenado, reacción, sedimentación, vaciado y reposo⁽¹⁷⁾, en una secuencia de tiempo. LLenar (recepción del agua residual) y Vaciar (descarga del efluente residual) deben ocurrir en cada ciclo completo para un tanque dado. Reacción (el tiempo para completar las reacciones deseadas),

Sedimentación (el tiempo para separar los organismos del efluente tratado), y Reposo (el tiempo después del vaciado del tanque y antes de volver a llenar). El período de reposo puede ser eliminado dependiendo de los requerimientos del tratamiento. Por ejemplo, si un sistema SBR estuviera siendo utilizado sólo para igualación, cada ciclo sólo involucraría llenar y vaciar. El reposo es necesario en un sistema de tanques múltiples cuando un tanque aun no está lleno, tal vez a bajo flujo, y se está llenando mientras el segundo tanque ha completado el vaciado y está así en el modo de reposo.

El tiempo para un ciclo completo es el tiempo total entre el inicio de llenado al final del reposo en un sistema de un sólo tanque, y para un sistema de tanques múltiples entre el inicio de llenado para el primer reactor (arbitrariamente definido) y el final del reposo para el último reactor. En un sistema de tanques múltiples, los reactores se llenan en secuencia.

La fig. 26 muestra un sólo tanque en cada uno de los cinco períodos de un ciclo completo. La figura también muestra el porcentaje de volumen máximo de líquido y el tiempo total del ciclo que es típico para cada período, así como el propósito de la aeración durante cada período.

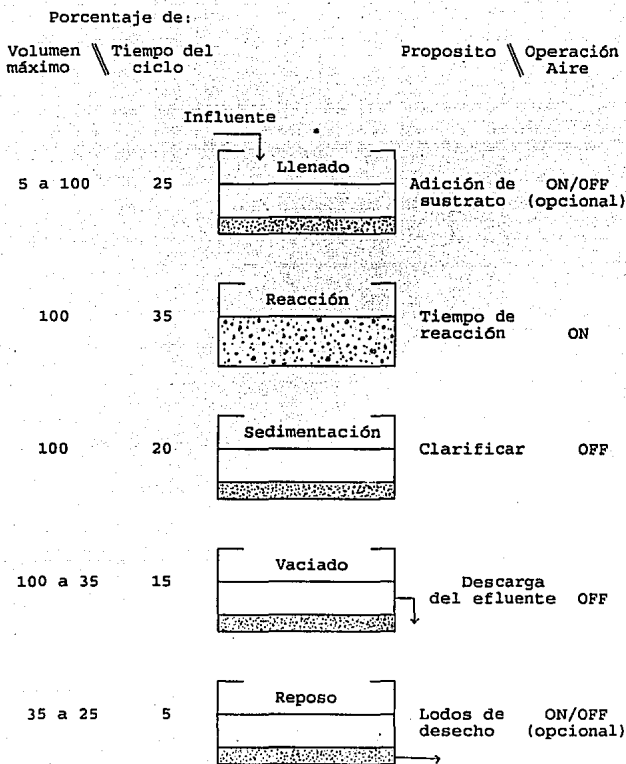


Fig. 26. Operación típica de un SBR para un ciclo.

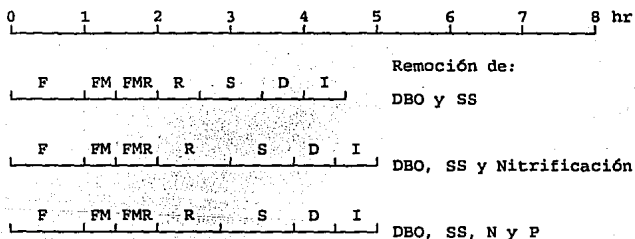
La tecnología SBR tiene la habilidad de llevar a cabo la remoción de la DBO, SS, nitrificación, denitrificación, remoción biológica de fósforo y el tratamiento de desechos peligrosos, si las condiciones de operación son modificadas adecuadamente para introducir reacciones aerobicas y anaerobicas.

La nitrificación puede ser realizada dando un TRS suficientemente largo (5 a 10 días o más) para asegurar el crecimiento de organismos nitrificantes y una concentración suficiente de oxígeno disuelto (2 mg/L). Por otra parte, para que la denitrificación ocurra, un tanque anóxico o un período anóxico en un SBR es necesario (presencia de nitratos, pero ausencia de oxígeno disuelto). Si estas condiciones se realizan secuencialmente en un SBR, la nitrificación ocurrirá primero y estará seguida por la denitrificación.

El fósforo puede ser removido por adición de coagulante y precipitación⁽²⁰⁾ ó biológicamente sin adición química. La remoción biológica de fósforo primero requiere un período anaerobico (la ausencia de oxígeno disuelto y nitrógeno oxidado) durante el cual donadores de electrones (el sustrato ó compuestos de reserva endógena intracelular microbiano) estan presentes. Este período debe ser seguido por un período aerobico (oxígeno disuelto presente) el cual promueve el consumo de fósforo por la masa de lodos. Este principio es la base para implementar una estrategia de

control apropiada en un SBR para remoción de fósforo sin adición de químicos (21).

Estos principios pueden ser usados para desarrollar diferentes estrategias de operación para diferentes objetivos de calidad de agua. Una estrategia sugerida para cada uno de los diferentes objetivos comunes de calidad de agua se presentan en la fig.27.



Leyendas

F = sólo llenado	S = sedimentación
FM = llenado - mezclado	D = decantación
FMR = llenado - mezclado y aireado	I = reposo
R = reacción	

Fig. 27. Estrategia de operación sugerida para diferentes objetivos de calidad.

Tener en cuenta que :

- En una planta dada, el tiempo de llenado es una función del flujo de la planta sobre el cual el operador no tiene control.

El tiempo de llenado será menor a altos flujos y viceversa.

- Aumentar el tiempo de reacción, sobre toda la duración de la operación del ciclo, no necesariamente tiene que ser aumentando el tiempo de reacción requerido para nitrificación ó para el tratamiento de desechos fuertes, frecuentemente puede ser realizado corriendo el período de aeración de una porción del período de llenado (llenado, mezclado y aireado).

- Operando estrategias para nitrificación y desnitrificación pueden no necesariamente ser diferentes; recordando que la desnitrificación debe preceder la nitrificación, idénticas estrategias de operación pueden ser esperadas si el oxígeno disuelto es reducido a menos de 0.5 mg/L durante los períodos de sedimentación, decantación y reposo.

- Por que la remoción de fósforo requiere un período anaeróbico seguido por un período aeróbico, un sistema de remoción de nitrógeno es fácilmente adaptable a la remoción de fósforo.

8.3 Comparación de los sistemas Continuo y SBR.

- El sistema SBR realiza el tratamiento, sedimentación de los sólidos suspendidos del licor mezclado y retiro del sobrenadante en el mismo tanque. Por consiguiente, éstos sistemas, no requieren de clarificadores por separado ni de bombas para la recirculación de lodos como en los sistemas de flujo continuo.

- Un tanque SBR sirve como un depósito de igualación durante el llenado y por consiguiente puede fácilmente tolerar flujos pico y cargas choque de DBO sin afectarse la calidad del efluente. Por el contrario, la mayoría de los sistemas continuos requieren de tanques de homogeneización previos al tanque reacción, con el fin de evitar cargas choque que afecten al sistema, y así, tratar de tener la carga orgánica de diseño.

- Cuando el flujo es significativamente más bajo que la capacidad de diseño, los sensores de nivel del líquido pueden ser colocados a un nivel más bajo, de tal manera que pueda ser usada una fracción de la capacidad del tanque SBR, de esta manera, pueden mantenerse los mismos ciclos de operación mientras que los sistemas de flujo continuo no permiten esta flexibilidad sin verse afectados en sus parámetros de operación.

- En el sistema SBR, durante el período de sedimentación la separación sólido-líquido ocurre casi bajo condiciones ideales quiescentes, mientras que en los sistemas de flujo

continuo, debido a la entrada continua de flujo al clarificador no se pueden lograr estas condiciones de separación.

- Un SBR puede ser operado para llevar a cabo la nitrificación, denitrificación y remoción de fósforo. Lo que no se logra en la mayoría de los sistemas continuos.

- Al igual que los sistemas de flujo continuo el SBR logra excelentes eficiencias de remoción de la carga orgánica, aunque una gran ventaja del SBR sobre el sistema continuo, es que, debido a que la descarga del efluente es periódica, dentro de límites, el efluente puede ser mantenido hasta satisfacer los requerimientos especificados.

- Ha sido reportado por Irvine⁽²⁴⁾ que el contenido de ácido ribonucleico (RNA) de los microorganismos en el SBR es tres a cuatro veces más grande que el que sería esperado de un sistema de flujo continuo convencional. Por que la velocidad de crecimiento de los microorganismos depende del contenido de RNA de las células, el mayor contenido de esta maquinaria intracelular en el SBR, el cultivo es capaz de procesar una mayor cantidad de sustrato en una mayor proporción de la que es posible en un sistema de flujo continuo convencional.

- Los sistemas de flujo continuo sólo pueden lograr significativas reducciones de nitrógeno y fósforo por mayores desembolsos de dinero para la construcción adicional de avanzadas plantas de tratamiento mientras que los sistemas SBR pueden lograr los mismos objetivos por cambios apropiados en la estrategia de operación.

9.0 PARTE EXPERIMENTAL.

9.1 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA EXPERIMENTAL.

9.1.1 JUSTIFICACION.

Tomando en cuenta que existen diferentes procesos para el tratamiento de las aguas residuales de acuerdo a lo estudiado en el capítulo 6, y considerando que son muchos y que difieren en complejidad los sistemas alternativos de lodos activados que se plantean en el capítulo 7, se optó por construir y trabajar con reactores de tipo "batch", debido a las ventajas que ofrece sobre los sistemas continuos, para el tratamiento del agua residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México.

Por otro lado, aprovechando que el laboratorio de tratamiento de aguas de la FES-Cuautitlan cuenta con reactores de tipo continuo; dichos reactores seran operados paralelamente a los "batch", alimentandoles la misma agua residual.

Con lo anterior, se espera encontrar en los reactores "batch" las mejores condiciones de operación de acuerdo a la calidad del efluente tratado. Todo esto desde el punto de vista de las variables a manejar.

Los resultados de los reactores continuos permitiran llevar a cabo una comparación con los reactores "batch", desde el punto de vista de calidad del agua tratada.

9.1.2 Sistema SBR.

Los reactores experimentales SBR fueron diseñados y construidos de manera similar al descrito por Irvine, Bush y Dennis (14,22).

Se construyeron 3 reactores cilindricos de 20.3 cm. de diámetro y 60 cm. de altura con una capacidad total de 17 litros en acrilico transparente de 4 mm. de espesor, sobre una base cuadrada del mismo material. El volumen del líquido para los tres reactores previo al llenado fué de 4 litros y el volumen final despues del llenado fué de 10 litros. La fig. 28 muestra las dimensiones de los reactores.

Cada reactor equipado con :

- Una bomba peristaltica Masterflex Cole-parmer modelo 7535-00 con un cabezal modelo 7016-20 para alimentar el agua residual al reactor.
- Una bomba dosificadora de aire Elite modelo 801 con un difusor de 10 cm. de largo para proporcionar oxígeno y agitación.
- Una válvula solenoide modelo Asco de 1/4 in. con reducción a 1/8 in. para permitir la salida del efluente tratado.
- Tres controles de tiempo o interruptores, serie 4000 (básico) con disco selector de 24 horas, intervalo mínimo de 1 1/2 horas de conexión-desconexión, 22 1/2 horas de intervalo máximo; los cuales programan la estrategia de operación, conectando y desconectando automáticamente el circuito eléctrico a la misma hora diariamente.

- Un botellón de vidrio con capacidad de 18 litros para coleccionar el efluente tratado.
- Una purga de lodos.
- Y finalmente un tanque de alimentación de polietileno de alta densidad con capacidad de 120 litros para alimentar el agua residual a los tres reactores, además de servir como un tanque de sedimentación primaria. La fig.29 muestra el arreglo final del sistema 'batch'.

La fotografía 1 y 2 muestran el arreglo del sistema SBR en el laboratorio.

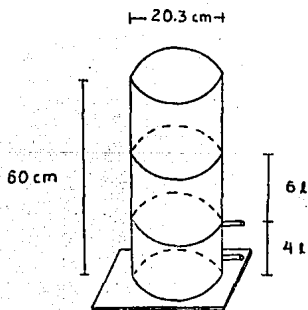


Fig 28 Dimensiones de los reactores 'batch'.

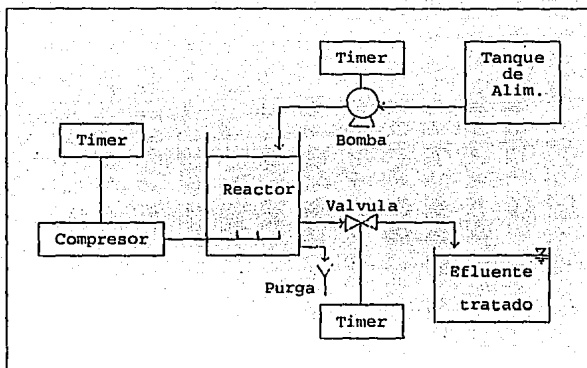
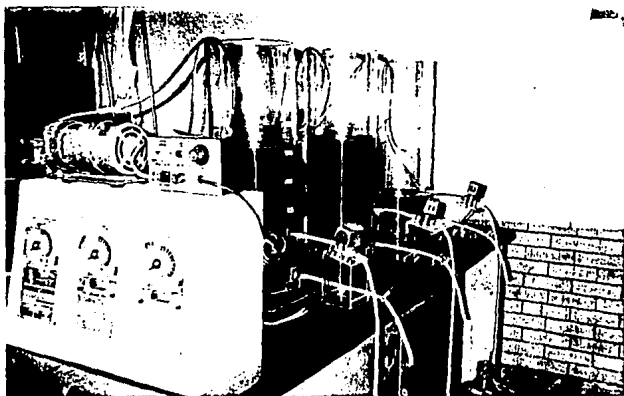
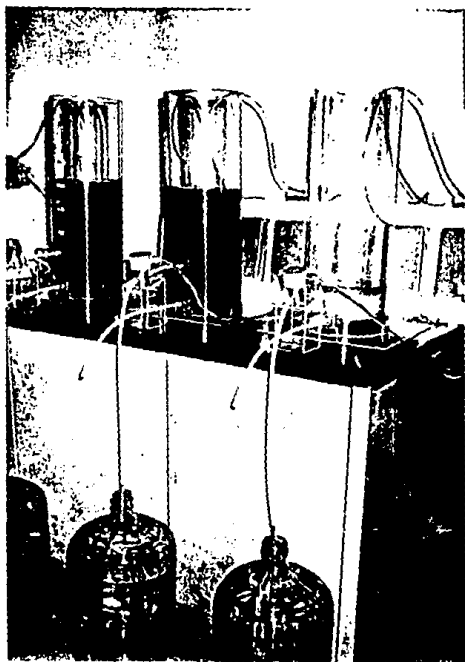


Fig. 29 Sistema SBR



Fotografia 1



Fotografia 2

9.1.3 Sistema Continuo.

El laboratorio de tratamiento de aguas contaba con 2 reactores de flujo continuo, los cuales nos fueron proporcionados con el fin de no incurrir en más gastos y perdida de tiempo.

El primer reactor consiste de un tanque de acrilico de 11.1 litros de capacidad, el cual esta dividido por una mampara interior para simular los tanques de aeración y sedimentación secundaria, con capacidades de 7.87 y 3.33 litros, respectivamente. El segundo reactor de 12.37 litros de capacidad de 8.66 y 3.71 litros. Cada uno de los reactores con su purga respectiva. La fig. 30 muestra las dimensiones de los reactores.

El agua residual alimentada fué la misma para ambos reactores, la cual se dosificó por gravedad utilizando un botellón de vidrio con capacidad de 15 litros, el efluente tratado se colectó en un botellón de vidrio con capacidad de 18 litros (un botellón para cada reactor).

Cada reactor cuenta con una bomba dosificadora de aire Arrow modelo 91-7076 con su respectivo difusor. La fig. 31 muestra el arreglo final del sistema continuo.

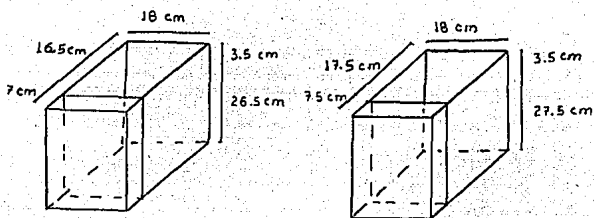


Fig. 30. Dimensiones de los reactores de flujo continuo.

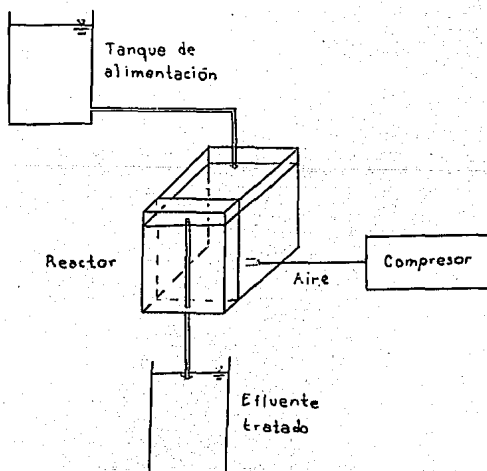


Fig. 31. Sistema continuo.

9.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales con lodos activados requieren de una etapa de aclimatación al inicio de operación de la misma. Este principio se aplica también para las plantas piloto ó para unidades experimentales a nivel laboratorio. La aclimatación consiste en la adición gradual del agua residual a ser tratada (10-100 %) al reactor con los lodos activados, así los microorganismos capaces de resistir el nuevo ambiente sobreviven y se reproducen, mientras que los que mueren sirven de alimento a los demás, formandose un ciclo de selección natural. Se pueden requerir varias semanas para la aclimatación completa de los microorganismos.

Una vez que los microorganismos se han aclimatado al agua residual problema, se ajustan las condiciones de operación (SSLM, Q, F/M, etc.). Una vez estabilizado el sistema, pueden tomarse los datos que representan su comportamiento.

Tanto para el sistema SBR como para el sistema continuo se consideraron las siguientes tres etapas :

- 1.- Aclimatación de los microorganismos al agua residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México.
- 2.- Estabilización del proceso.
- 3.- Obtención de datos para determinar, la biodegradabilidad del agua residual.

Tomando en cuenta los recursos con los que cuenta el laboratorio de tratamiento de aguas (equipo, material y reactivos) para la caracterización del agua residual, se seleccionaron los parámetros más importantes de los citados en la norma NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios, y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Dichos parámetros fueron los siguientes:

- Color.
- Conductividad.
- DBO₅.
- DQO.
- pH.
- Sedimentabilidad.
- SST, SSLM Y SSVLM.
- Temperatura.
- Turbiedad.

Los lodos activados se obtuvieron de la planta de tratamiento de aguas residuales Chapultepec.

El muestreo del agua residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México se realizó a un costado de la FES-

Cuautitlan Campo 4. La fig.32 muestra la localización exacta del punto de muestreo. El muestreo se hizo martes, jueves y sabado de cada semana. La fotografía 3 y 4 muestran el punto de muestreo.

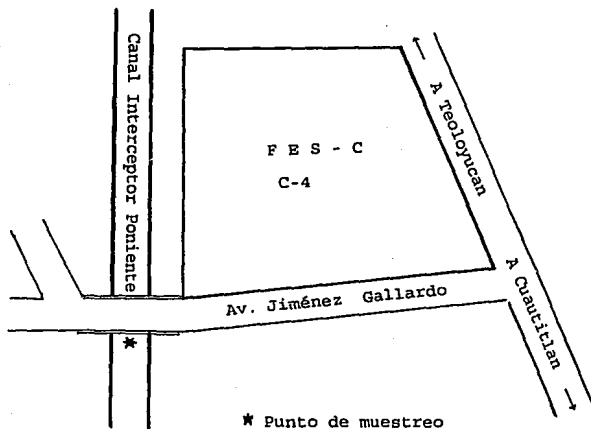
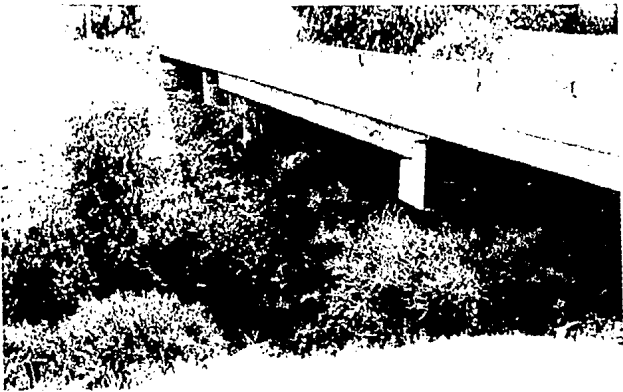


Fig. 32. Localización del punto de muestreo.



Fotografías 3 y 4. Lugar de muestreo.

9.2.1 Sistema SBR.

Los reactores 'batch' comenzaron la etapa de aclimatación el 12 de Noviembre de 1992 y se concluyó el 14 de Enero de 1993. Una vez aclimatados los microorganismos al agua residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México se ajustaron las condiciones de operación. La concentración de los SSLM en los 3 reactores fué de aproximadamente 2000 mg/L y el volumen de agua a tratar fué de 6 litros por ciclo.

La operación del proceso se dividió en 2 etapas :

- Primera etapa : en ésta primera etapa se trabajaron ciclos de 8, 12 y 24 horas con el fin de cubrir un amplio rango de tiempos de reacción y así seleccionar tiempos de condiciones de operación.
- Segunda etapa : con los resultados obtenidos de la primera etapa y con el fin de encontrar las condiciones óptimas de operación se descartó el ciclo de 8 horas y se trabajó con los ciclos de 12 y 24 horas, pero haciendo algunas modificaciones, las cuales consistieron en iniciar la aeración al momento de llenar los reactores, aumentando así el período de reacción-aeración.

La tabla 19 muestra los ciclos de operación durante las 2 etapas de la experimentación.

Tabla 19
Ciclos de operación.

Período (horas)	Primera etapa			Segunda etapa		
	Reactor			Reactor		
	1	2	3	1	2	3
Llenado	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Reacción	20.0	8.0	4.0	21.5	9.5	8.0
Sedimentación	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vaciado	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Reposo	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ciclo Total	24	12	8	24	12	12
Ciclos/día	1	2	3	1	2	2

Después de haber estabilizado el proceso se tomaron los datos experimentales, ésto a partir del 2 de Febrero de 1993 al 1 de Abril de 1993.

Las determinaciones analíticas de los diferentes parámetros a evaluar se hicieron de acuerdo con los métodos estandar⁽²⁹⁾.

9.2.2 Sistema Continuo.

La etapa de aclimatación para el sistema continuo dió inicio el 5 de Febrero de 1993 y terminó el 26 de Febrero de 1993. Una vez aclimatados los microorganismos, se ajustaron las condiciones de operación. Los 2 reactores trabajaron con la misma concentración de SSLM (2000 mg/L), pero con diferentes flujos y por lo tanto diferentes relaciones de F/M y diferentes tiempos de retención.

Las condiciones de operación fueron las siguientes :

Parámetro	Reactor 1	Reactor 2
SSSLM	2000	2000
Q (ml/min)	5.67	8.5
F/M (d^{-1})	0.2	0.3
DQO _{infl.}	360	360
PH _{infl.}	7.5	7.5

Después de haber aclimatado el sistema, se tomaron los datos experimentales del 5 de Marzo de 1993 al 1 de Abril de 1993.

9.3 RESULTADOS.

Los resultados obtenidos se muestran en el apéndice A.

9.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

Comportamiento de los reactores durante la etapa de experimentación.

Tal y como se explicó en el diseño experimental, los reactores 'batch' trabajaron con ciclos diferentes. Al inicio se empezó con un ciclo en el reactor R1, dos ciclos en el R2 y tres en el R3; sin embargo el análisis de los resultados que se fueron presentando durante la experimentación, nos llevaron a realizar cambios en los ciclos, con la finalidad de buscar mejores resultados, descartando aquellos ciclos que se consideraron inapropiados por su operación y resultados del efluente tratado.

Los cambios que se realizaron y las observaciones detectadas en cada reactor, fueron las siguientes :

Reactor R1.

<u>Fecha 1993</u>	<u>Operación</u>
02-Feb. a 01-Mar.	Un ciclo normal/día.
02 Mar. a 12-Mar.	Dos ciclos/día, con aeración al llenar.
13 Mar. a 01 Abr.	Un ciclo/día, con aeración al llenar.

Al final del primer periodo de operación se observó un lodo bien formado y de alta consistencia, es decir con peso y estructura desarrollado de tal forma que cuando terminaba el periodo de aeración, los lodos sedimentaban completamente

en menos de cinco minutos, dando como resultado un sobrenadante cristalino de excelente calidad en cuanto a remoción de carga orgánica.

Cuando se cambio a los ciclos de 12 hr. con aeración al momento del llenado, se observó al principio un comportamiento similar al anterior, sin embargo a partir del 10 de Marzo, los lodos tardaban más tiempo en sedimentar, lo que indicaba que el lodo empezaba a disminuir en cuanto a la consistencia alcanzada en el ciclo de 24 hr.; de ahí que a partir del 13 de Marzo se haya optado por regresar al ciclo de 24 hr. pero con aeración al momento de llenar, observandose al final de la experimentación que el lodo alcanzó sus cualidades inicialmente logradas.

Reactor R2.

<u>Fecha 1993</u>	<u>Operación</u>
02-Feb. a 01-Mar.	Dos ciclos normales/día.
02 Mar. a 12-Mar.	Dos ciclos/día con aeración al llenar.
13 Mar. a 17 Mar.	Un ciclo normal/día.
18 Mar. a 01 Abr.	Dos ciclos/día con aeración al llenar.

Durante el período que se trabajo con los ciclos de 12 hr., se observó que el lodo presentaba características de consistencia, tamaño y peso menor al observado en el reactor R1, sin embargo durante el período de sedimentación se lograba una compactación aceptable de los lodos, lo que permitió obtener un efluente tratado de buena calidad.

A finales del mes de Febrero, se detectó un abultamiento de los lodos, lo que provocó una pobre sedimentación de los lodos durante el período de sedimentación, por lo que se optó por iniciar la aeración al momento del llenado, observándose una ligera mejoría; con la finalidad de acelerar el proceso de recuperación de los lodos se cambiaron los ciclos a un ciclo/día por lo que al final de la primera quincena de Marzo ya el lodo presentaba una buena consistencia y la sedimentación era más rápida. Finalmente se decidió regresar a los ciclos de 12 hrs con aeración al momento del llenado observándose apenas ligeras variaciones en la última etapa de la experimentación.

Reactor R3.

<u>Fecha 1993</u>	<u>Operación</u>
02-Feb. a 01-Mar.	Tres ciclos normales/día.
02 Mar. a 12-Mar.	Tres ciclos/día con aeración al llenar.
13 Mar. a 17 Mar.	Un ciclo normal/día.
18 Mar. a 01 Abr.	Dos ciclos/día con aeración al llenar.

Durante todo el mes de Febrero las características del lodo presente en este reactor fueron malas, en comparación con los reactores R1 y R2. El lodo observado presentaba abultamiento excesivo, de aspecto esponjoso teniéndose una pobre sedimentación y por consiguiente un arrastre de los lodos en la salida del efluente.

Las observaciones realizadas y los datos obtenidos hasta entonces, nos llevaron a iniciar la aeración al momento del llenado, sin embargo las mejorías observadas eran mínimas y se continuaba perdiendo lodo, por lo que se decidió descartar completamente los ciclos de 8 hr. y a partir del 13 de Marzo se cambió al ciclo de 24 hr. para finalmente cambiar a los ciclos de 12 hr. con aeración al momento del llenado en la última fase de la experimentación.

Los cambios realizados en la segunda quincena de Marzo, permitieron mejorar las condiciones parcialmente, fué necesario agregar lodo al reactor para reponer las pérdidas que se tenían al ser arrastrados por el efluente final.

Reactores Continuos A y B.

En estos reactores únicamente se controlaron los sólidos suspendidos del licor mezclado (aprox. 2000 ppm) y el gasto volumétrico.

Se observó que, debido al diseño de los reactores no se tenía un buen mezclado, existiendo algunas zonas muertas en cuanto a movimiento. Por otra parte, en el clarificador los lodos se acumulaban únicamente en algunas áreas, dificultando la actividad de purga misma que se realizó cuando era necesaria.

A continuación se analizan los valores obtenidos para cada parámetro de la caracterización del influente, y efluente de cada reactor :

1.- Parámetros Básicos.

1.1 Temperatura.

Como es natural la temperatura del sitio de muestreo de las aguas residuales del Interceptor Poniente varía en función de los cambios climáticos; durante el período de la experimentación los valores fluctuaron entre 15.8 a 17.4°C.

Durante el período del 7-Feb.-90 al 15-Julio-91 los valores oscilaron entre 19 y 24°C, predominando el valor de 20°C como se muestra en la Tabla No.1 del apéndice A.

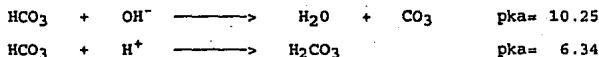
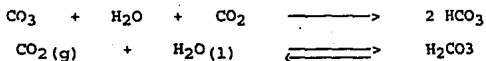
1.2 Potencial de Hidrógeno.

Para el período del 7-Feb.-90 al 15-Jul.-91 los valores fluctuaron de 6.7 a 8.0 unidades y del 26-Feb.-93 al 1-Abr.-93 de 6.93 a 8.17 unidades. Todos los valores que se muestran en la Tabla No.1 del apéndice A nos indican las pocas variantes detectadas y en general durante el mes de Marzo los valores a excepción del 6.93 todos estuvieron ligeramente arriba del punto neutro (7 unidades).

En relación al pH que se detectó en el efluente tratado de cada reactor, se observa en las tablas correspondientes del apéndice A que el potencial de hidrógeno del efluente con respecto al del influente tiende a incrementarse tanto en los reactores 'batch' como en los continuos, los valores oscilaron alrededor de 8.0 unidades.

El incremento del pH en el efluente se atribuye a que los microorganismos presentes en el licor mezclado, consumen

las sustancias ácidas del influente y liberan entre otros componentes nitrógeno amoniacal y dióxido de carbono CO_2 , el cual reacciona con el agua y con los carbonatos presentes, para formar el ion bicarbonato que presenta cierta acción reguladora, pues puede ceder o aceptar protones por reacción con bases o con ácidos.



El pH del anfolito es $\text{pH} = 1/2 (\text{pka}_1 + \text{pka}_2) = 8.3$ unidades.

1.3 Color.

Los valores detectados para este parámetro oscilaron en el siguiente rango :

Influente	=	840 a 2250	unidades Pt-Co
Efluente R1	=	47 a 150	" "
Efluente R2	=	57 a 214	" "
Efluente R3	=	68 a 525	" "
Efluente RA	=	50 a 95	" "
Efluente RB	=	71 a 110	" "

Tomando en cuenta los valores que se obtuvieron para el influente residual, se observa que en todos los efluentes tratados se lograron remociones apreciables llegando a

obtener efluentes tratados casi totalmente cristalinos con 47 unidades de color en la escala Pt-Co.

Cabe mencionar que durante el período en el que se trabajó un ciclo normal de 24 hr., dos ciclos normales de 12 hr. y tres ciclos normales de 8 hr. en los reactores R1, R2 y R3 respectivamente, en el ciclo normal de 24 hr. se obtuvieron los mayores abatimientos de color en el efluente.

En el caso particular del reactor R1, los mayores abatimientos de color se lograron al trabajar con un ciclo de 24 hr. con aeración al momento del llenado.

1.4 Turbiedad.

Este parámetro presentó un comportamiento similar al del color, obteniéndose los siguientes valores :

Influente	=	125 a 425	UTJ
Efluente R1	=	4 a 27	UTJ
Efluente R2	=	5 a 40	UTJ
Efluente R3	=	11 a 100	UTJ
Efluente RA	=	5 a 18	UTJ
Efluente RB	=	8 a 72	UTJ

Del análisis global de los datos, se observa que en el reactor R1 se obtuvieron las remociones más altas.

1.5 Conductividad.

La conductividad observada para cada caso en particular mostró lo siguiente :

- Influyente : Del 7-Feb.-90 al 15-Jul.-91 osciló entre 300 y 6000 ms/cm, mientras que en el período de la experimentación los reactores "batch" y continuos estuvieron entre 1092 y 1681 ms/cm presentando muy pocas variaciones en relación al primer período.
- Efluente R1 = 954 a 1450 micromhos/cm
- Efluente R2 = 942 a 1487 ''
- Efluente R3 = 1040 a 1558 ''
- Efluente RA = 1242 a 1472 ''
- Efluente RB = 1240 a 1500 ''

Los cambios realizados en la operación de los tres reactores "batch", no afectan los resultados de conductividad que se obtienen.

Los resultados anteriores nos indican que este parámetro es poco sensible a el tratamiento aplicado en cada sistema.

1.6 Sólidos Sedimentables.

La presencia de sólidos sedimentables en el influente del agua residual se hizo presente en cantidades mínimas durante el período de experimentación. Los valores encontrados oscilaron entre 0.5 y 1.0 ml/l.

En el período del 7-Feb.-90 al 15-Jul.-91 se alcanzaron valores de 12.0 ml/l.

Cabe mencionar que estas determinaciones se realizaron inmediatamente después de tomadas las muestras. Los sólidos sedimentables del agua residual no afectaron a los reactores ya que antes de que el agua llegara a los reactores se tenía el tanque de homogenización el cual hacía las veces de una etapa de sedimentación primaria.

2.0 Carga Orgánica.

La carga orgánica de un agua residual está representada básicamente por los cuatro parámetros que a continuación se analizan :

2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día, DBO₅.

De los parámetros representativos de la carga orgánica, la DBO₅ es considerado como el más importante, e incluso es el que se toma para seleccionar el sistema de tratamiento óptimo, dependiendo de la remoción deseada y la calidad del efluente final que se requiere.

Teniendo en cuenta el tiempo que se lleva la determinación de la DBO₅, únicamente fué posible realizar 6 determinaciones por reactor "batch" e influente y 3 en los reactores continuos.

Los valores encontrados tuvieron las siguientes variaciones :

- Influyente = 122.0 a 207.0 mg/l
- Efluente R1 = 5.88 a 17.20 "
- Efluente R2 = 13.77 a 18.72 "

- Efluente R3 = 23.56 a 27.55 ''
- Efluente RA = 14.87 a 25.08 ''
- Efluente RB = 20.28 a 28.73 ''

Como puede verse, los valores mínimos de este parámetro se encontraron en el efluente del reactor R1 y los máximos estuvieron en los reactores R3 y RB.

En el reactor R1 el valor más bajo se observó al final del ciclo normal de 24 hr., en el reactor R2 se presentaron los valores más bajos al final de los ciclos normales de 12 hr. y al final de los ciclos con aeración al momento de llenado; es decir cuando concluyó la experimentación.

En el reactor R3, a pesar de todos los cambios que se realizaron, siempre se detectaron valores altos de DBO_5 , en relación a los otros reactores.

Lo anterior se atribuye al tiempo de residencia del agua a tratar en cada reactor.

2.2 Demanda Química de Oxígeno, DQO.

Los valores obtenidos para este parámetro fueron los siguientes :

- Influyente : Del 7-Feb-90 al 15-Jul.-91 = 57 a 532 mg/l y en la experimentación del 2-Feb.-93 al 30-Marzo.-93 = 276 a 585.27 mg/l.
- Efluente R1 = 32.00 a 69.56 mg/l
- Efluente R2 = 46.61 a 90.89 ''
- Efluente R3 = 64.00 a 114.43 ''

- Efluente RA = 45.79 a 65.10 ''
- Efluente RB = 49.97 a 74.78 ''

Para el caso del influente se puede observar en la Tabla No.2 del apéndice A que los valores máximos se presentaron durante el mes de Marzo.

En el caso de los reactores "batch" (ver Tabla No.5, 7 y 9) se puede observar lo siguiente :

En el reactor R1 los valores más bajos se encontraron cuando se estuvo trabajando con el ciclo normal de 24 hr. Cuando se cambio a dos ciclos de 12 hr. con aeración al momento del llenado fué cuando se alcanzó el valor más alto de 69.16 mg/l, posteriormente al cambiar a un ciclo de 24 hr. con aeración al momento del llenado los valores tendieron a disminuir comportandose dentro del margen encontrado en el ciclo normal de 24 hr.

En el reactor R2 los valores de DQO estuvieron más altos durante el período que se trabajo con dos ciclos normales de 12 hr. y los valores tendieron a disminuir al cambiar la aeración de los dos ciclos al momento del llenado.

En el reactor R3 se obtuvieron los valores más altos de DQO en el efluente, al trabajar con los ciclos de 8 hr. y por consiguiente bajas eficiencias de remoción.

En los reactores continuos no se observaron grandes diferencias, aunque en el reactor RA se obtuvieron mejores remociones que en el reactor RB.

2.3 Sólidos Suspendedos Totales.

Los sólidos suspendidos totales que representan la cantidad de materia que no sedimenta, arrojó los siguientes valores :

- Influyente = En la etapa experimental 104 a 395 mg/l
- Efluente R1 = 1.0 a 24 mg/l
- Efluente R2 = 2.0 a 33 "
- Efluente R3 = 3.0 a 77 "
- Efluente RA = 1.0 a 8.8 "
- Efluente RB = 1.0 a 11 "

Los valores anteriores nos indican que los efluentes tratados en cada reactor estuvieron en algunas ocasiones casi libres de sólidos en suspensión ya que se detectaron valores de 1.0 mg/l.

Con respecto a los reactores "batch", en el R1, se obtuvieron las concentraciones más bajas de este parámetro.

En el reactor R1 los valores de 1.0 mg/l se obtuvieron al final del ciclo de 24 hr. y durante el ciclo de 24 hr. con aeración al momento del llenado, mientras que en el reactor R2 los valores de 2.0 mg/l se obtuvieron a la mitad de los ciclos de 12 hr. con aeración al momento del llenado.

Para el reactor R3 el único valor más bajo se obtuvo el 24 de Marzo, que corresponde a la mitad del período en el

cual se trabajo con dos ciclos de 12 hr. con aeración al momento del llenado.

En los reactores continuos RA y RB los valores de 1.0 mg/l se obtuvieron al final del mes de Marzo, relativo también al final de la fase experimental.

3. Otros parámetros.

Durante la caracterización no se realizaron análisis de compuestos tóxicos por la falta de recursos humanos, tiempo, equipo y reactivos, pero los resultados de las pruebas de DBO₅ no señalan síntomas de inhibición ni de toxicidad a los microorganismos.

Con la finalidad de proporcionar una mayor información sobre el influente residual, se anexa en la Tabla No. 3 del apéndice A una serie de resultados de varios parámetros que fueron realizados por otros compañeros en el período del 7 de Febrero de 1990 al 15 de Julio de 1991.

4. Parámetros de Control.

Para tener un control en el sistema de tratamiento y buscar la mejor alternativa se tomaron como parámetros de evaluación los SSLM y la sedimentabilidad de los sólidos suspendidos del licor mezclado, analizandose también el contenido de SSVLM para los 5 reactores.

La concentración de SSLM a controlar en cada reactor fué de 2000 mg/l permitiendo un margen de +- 300 mg/l.

El procedimiento de control consistió en hacer el análisis de los parámetros indicados anteriormente cada tercer día y a partir del volumen con el que se trabajó, que fué de 10 litros para los reactores "batch" y de 7.87 y 8.66 para los reactores continuos; se calculó el volumen de licor mezclado que era necesario desalojar para mantener los 2000 mg/l de control.

Así se podrá observar en las Tablas No. 10 y 14 que sólo en algunas ocasiones los valores de SSLM estuvieron arriba o abajo del valor de control.

Los valores de sedimentabilidad para cada reactor fueron variables y arrojaron los siguientes datos :

- Reactor R1 = de 80 a 390 ml/l
- Reactor R2 = de 125 a 700 "
- Reactor R3 = de 140 a 520 "
- Reactor RA = de 95 a 125 "
- Reactor RB = de 190 a 205 "

Se observa que los valores mas altos se presentaron en los reactores R2 y R3, lo cual se atribuye a que el lodo de estos reactores presentaba abultamiento y por lo tanto una pobre sedimentación.

Esto no sucedio en el caso del reactor R1 durante el ciclo normal de 24 hr. y el ciclo de 24 hr. con aeración al momento del llenado ya que como se comento anteriormente, el

lodo alcanzó características especiales que favorecieron la etapa de sedimentación.

5. Remoción de la Carga Orgánica.

A continuación se analiza el porcentaje de remoción logrado en términos de los parámetros de DQO, DBO y SST para cada efluente tratado en función del influente alimentado.

5.1 Demanda Química de Oxígeno, DQO.

En la Gráfica No. 1 puede observarse claramente que las máximas remociones logradas en este parámetro se obtuvieron en el reactor R1, siguiéndole el R2 y finalmente el R3.

En el reactor R1 se lograron remociones de 78.88 a 92.24 %, mientras que en el R2 de 73.56 a 87.61 % y en el R3 de 61.49 a 81.79 %.

En la Gráfica No. 2, se puede observar que la remoción de la DQO lograda en los reactores continuos fué mayor para el reactor RA que para el RB.

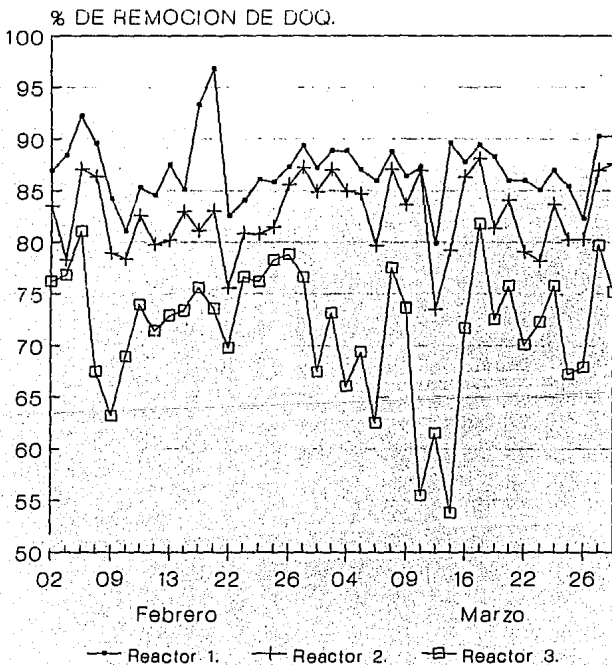
Los valores que se obtuvieron para el reactor RA estuvieron entre 80.13 y 91.06 %, mientras que para el RB fluctuaron de 75.64 a 88.41 %.

Si comparamos estas remociones logradas en los reactores continuos con los reactores "batch", se puede observar que fueron muy parecidas a las logradas en el reactor R2. En términos generales, puede decirse que el reactor R1 presentó las mejores remociones entre los cinco reactores.

AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE

REACTORES BATCH

GRAFICA N° 1

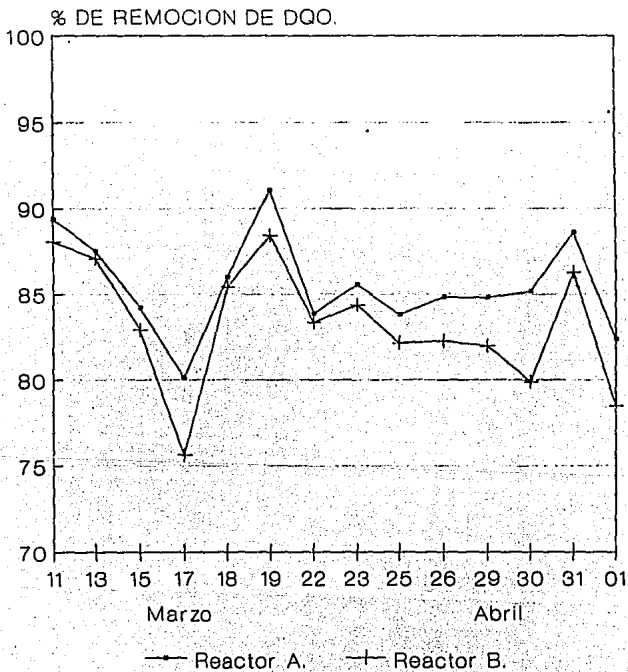


Período: 02/FEB/93 - 30/MAR/93

AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE

REACTORES CONTINUOS

GRAFICA N° 2



Período: 11/MAR/93 - 01/ABR/93

5.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO₅

La Gráfica No. 3 que muestra los resultados de remoción obtenidos en los cinco reactores, para este parámetro, nos indican claramente que el efluente del reactor R1 fué el mejor, siguiendole los reactores R2 y RA, a continuación el RB y al final el reactor R3. Los valores fueron :

- Reactor R1 = 90 a 95.18 %
- Reactor R2 = 86 a 93.08 %
- Reactor R3 = 79.96 a 87.98 %
- Reactor RA = 88 a 89 %
- Reactor RB = 83.90 a 87.40 %

En el reactor R1 la máxima remoción se obtuvo el 1 de Marzo que fué al final del período en el que se trabajo con el ciclo normal de 24 hr.

5.3 Sólidos Suspendidos Totales, SST.

Al igual que en la DQO y DBO₅ los valores más altos de remoción se lograron en el efluente tratado del reactor R1, lo cual puede observarse con más claridad en las Gráficas No.4 y No. 5.

Los resultados totales estuvieron en los siguientes rangos :

- Reactor R1 = 91.35 a 99.75 %
- Reactor R2 = 90.38 a 99.49 %

- Reactor R3 = 70.38 a 99.49 %
- Reactor RA = 95.40 a 99.67 %
- Reactor RB = 94.67 a 99.50 %

El valor máximo de remoción se detectó en los reactores
''batch'' durante los siguientes ciclos :

Reactor R1 = un ciclo/día con aeración al momento del
llenado

Reactor R2 = dos ciclos/día con aeración al momento del
llenado

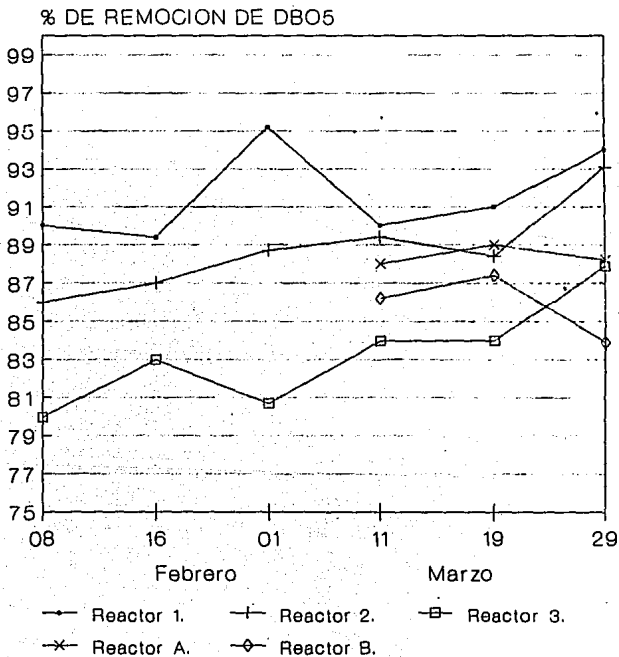
Reactor R3 = dos ciclos/día con aeración al momento del
llenado

En los reactores continuos correspondieron a las
siguientes fechas :

Reactor RA = 1 de Abril de 1993.

Reactor RB = 29 de Marzo de 1993.

AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
REACTORES BATCH Y CONTINUOS
GRAFICA N° 3

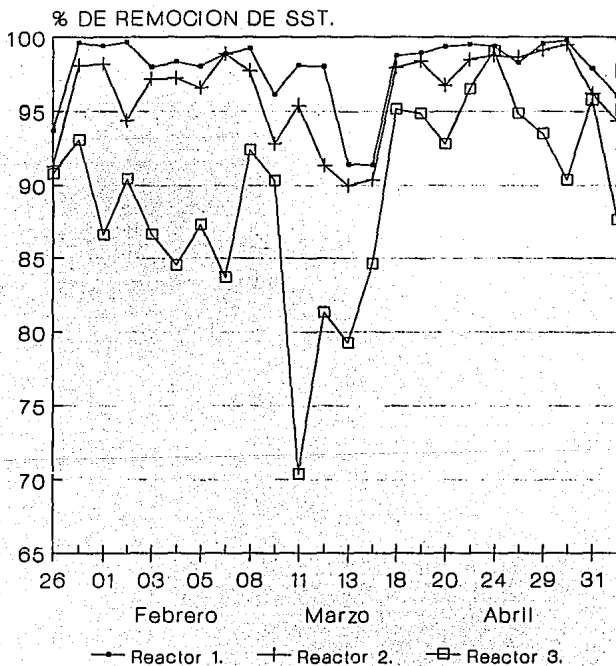


Período: 08/FEB/93 - 29/MAR/93

AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE

REACTORES BATCH

GRAFICA N° 4

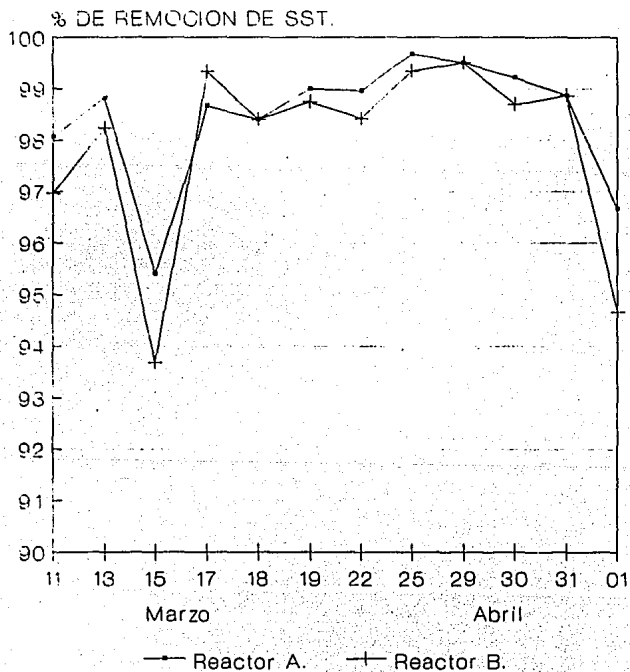


Período: 26/FEB/93 - 01/ABR/93

AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE

REACTORES CONTINUOS

GRAFICA N° 5



Periodo: 11/MAR/93 - 01/ABR/93

10.0 CONCLUSIONES

Desde el punto de vista del estudio realizado sobre el problema de la contaminación del agua en México, se encuentra que existen zonas con gran escasez de agua por lo que es necesario:

- Un uso eficiente del agua.
- Incremento en el tratamiento y reuso de agua tratada.
- Saneamiento de cauces y harrancas.
- Aprovechamiento de conservación del agua de lluvia.
- Aprovechamiento y distribución eficiente de los recursos disponibles.

En base a los resultados obtenidos de la experimentación se concluye lo siguiente:

- El agua residual que conduce el Interceptor Poniente de la Ciudad de México en el sitio de muestreo, presentó una DBO_5 promedio de 156 mg/l, $DQO = 379.31$ mg/l, Color = 1,518.12 Pt-Co, Conductividad = 1,381.83 mhos/cm, pH = 7.53 unidades, SS = 0.68 ml/l, SST = 248.29 mg/l, Temperatura = 16.58 °C y Turbiedad = 256 UTJ.

- Considerando la remoción de contaminantes obtenida, el ciclo que arrojó los mejores resultados en los reactores "batch" fué el de 24 hr. y aun mejor, el mismo ciclo cuando se inicio la aeración al momento de la entrada de influente al reactor; todo esto detectado por las concentraciones más

bajas de los parámetros analizados con respecto a los obtenidos en los otros reactores.

- Si se toman en cuenta los volúmenes de agua tratada en cada reactor y la calidad de agua obtenida en el efluente tratado, se puede decir que la operación más adecuada es tener dos ciclos de 12 hr. con aeración al momento del llenado, ya que en éste caso se está tratando el doble del que se trata en el ciclo de 24 hr.

- Para éste caso en particular, si se trabaja el reactor 'batch' con ciclos de 12 hr. ó mayores a éste tiempo y se pone la aeración desde el inicio de la entrada del influente se obtienen mejores resultados en cuanto a la calidad del efluente tratado, en relación a los reactores continuos que se trabajaron con una relación de F/M de 0.2 y 0.3 d^{-1} . Por otra parte es importante tomar en cuenta el volumen de agua a tratar el cual en éste caso sería de 12 litros/día para el reactor 'batch' teniendo 2 ciclos/día y de 8.5 litros/día para un reactor continuo.

De esta manera en la experimentación se encontró que el tratamiento de aguas residuales por el proceso de lodos activados bajo el sistema SBR, proporciona excelentes resultados, desde el punto de operación y calidad del efluente tratado.

- Los criterios técnico-sanitarios para el aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola establecen que toda agua que se pretenda utilizar en riego agrícola, incluyendo agua residual cruda o tratada, debe cumplir con los siguientes límites máximos permisibles:

Conductividad eléctrica	de 700 a 3000 μ mho/cm.
Sólidos disueltos totales	de 450 a 2000 mg/l.
Sólidos suspendidos	< 100 mg/l.
Relación de adsorción de sodio	de 3 a 9 meq/l.
Carbonato de sodio residual	1.25 meq/l.
Coliformes Fecales (NMP) por 100 ml	< 1000.
Nemátodos intestinales, (Número de huevos viables por litro)	< 1.
Detergentes	de 2 a 4 mg/l.
DBO	de 10 a 20 mg/l.
DQO	de 30 a 60 mg/l.
Nitrógeno	< 5 mg/l.
Fósforo	< 60 mg/l.
Grasas y aceites	< 30 mg/l.
pH	entre 6.5 y 8.4
Sulfatos	entre 150 y 320 mg/l.
Cloro residual	< 0.5 mg/l.
Metales pesados (excepto Al, Fe, Pb, Li, Zn)	< 0.2 mg/l.

Comparando los valores anteriores, con los resultados de los parámetros evaluados en la experimentación, se

observa que el agua residual tratada cumple con los límites permisibles y por lo tanto puede ser utilizada en actividades de riego agrícola. No obstante deberá realizarse una caracterización completa que garantice la calidad del agua deseada.

La construcción de los reactores "batch" para la realización de este proyecto, permitirá que en el futuro se continúe trabajando con ellos y se estudien otras variables.

11.0 APENDICE A.

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
INFLUENTE RESIDUAL

TABLA No. 1

HOJA 1 DE 1

F E C H A	TEMPERATURA °C	pH Unid.	COLOR Pt-Co	TURBIEDAD UTJ	CONDUCTIVIDAD Micromhos/cm	S. SEDIMENTABLES ml/l
07-FEB-90	20.00	7.40			750.00	7.50
15-FEB-90	21.00	7.70			1100.00	0.80
21-FEB-90	19.00	7.70			1000.00	2.00
29-MAR-90	22.00	7.50			1100.00	0.50
04-MAY-90	24.00	7.30			1000.00	0.50
20-MAR-91	20.00	6.80			500.00	2.00
03-ABR-91	20.00	6.80			500.00	3.50
24-ABR-91	20.00	6.70			1050.00	1.50
15-MAY-91	20.00	6.80			700.00	1.50
22-MAY-91	20.00	6.80			800.00	2.50
29-MAY-91	20.00	6.90			530.00	1.00
05-JUN-91	20.00	7.40			600.00	0.20
26-JUN-91	20.00	8.00			600.00	
03-JUL-91	20.00	6.80			420.00	12.00
15-JUL-91	20.00	6.90			300.00	0.40
26-FEB-93		7.56	2025.00	385.00	1245.00	
27-FEB-93	15.80	7.69	1530.00	270.00	1219.00	0.50
01-MAR-93		7.50	1260.00	215.00	1164.00	
02-MAR-93		7.34	1835.00	325.00	1140.00	
03-MAR-93		7.30	1620.00	295.00	1136.00	
04-MAR-93		7.43	1575.00	265.00	1092.00	
05-MAR-93		7.51	1650.00	285.00	1116.00	
06-MAR-93	16.30	7.67	1410.00	244.00	1356.00	0.80
08-MAR-93		7.73	1630.00	280.00	1407.00	
09-MAR-93		7.53	1810.00	320.00	1534.00	
11-MAR-93		7.89	2045.00	370.00	1584.00	
12-MAR-93		7.83	1400.00	230.00	1543.00	
13-MAR-93	17.40	7.74	1130.00	210.00	1539.00	1.00
16-MAR-93		7.19	840.00	125.00	1566.00	
18-MAR-93		7.29	1460.00	425.00	1553.00	
19-MAR-93		7.19	2250.00	385.00	1568.00	
20-MAR-93	17.20	7.11	945.00	155.00	1370.00	0.50
22-MAR-93		7.55	1450.00	150.00	1448.00	
24-MAR-93		8.17	1455.00	165.00	1629.00	
25-MAR-93	16.60	8.00	1410.00	160.00	1681.00	0.50
29-MAR-93		7.55	1235.00	215.00	1362.00	
30-MAR-93		7.36	2120.00	275.00	1428.00	
31-MAR-93		6.93	1075.00	180.00	1239.00	
01-ABR-93	16.20	7.66	1275.00	215.00	1245.00	0.80

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
INFLUENTE RESIDUAL

TABLA No. 2

HOJA 1 DE 2

F E C H A	DQO mg/l	DBO5 mg/l	GRASAS Y ACRITES mg/l	S.S.T. mg/l
07-FEB-90	416.00	308.00	94.00	550.00
15-FEB-90	456.00	183.00	84.00	133.00
21-FEB-90	413.00	243.00	64.00	75.00
29-MAR-90	463.00	244.00	57.00	180.00
04-MAY-90	256.00	170.00	53.00	131.00
20-MAR-91	684.00	300.00	18.00	
03-ABR-91	532.00	258.00	10.00	
24-ABR-91	351.00	270.00	2.00	
15-MAY-91	162.00	80.00	140.00	452.00
22-MAY-91	359.00	170.00	130.00	860.00
29-MAY-91	289.00		155.00	396.00
05-JUN-91	354.00	120.00		312.00
26-JUN-91	320.00	175.00	174.00	92.00
03-JUL-91	57.00	43.00	67.00	568.00
15-JUL-91	60.00	12.00	43.00	1720.00
02-FEB-93	315.50			
03-FEB-93	276.00			
04-FEB-93	464.00			
08-FEB-93	341.25	133.00		
09-FEB-93	292.14			
10-FEB-93	298.37			
11-FEB-93	370.94			
12-FEB-93	333.30			
13-FEB-93	377.85			
15-FEB-93	366.97			
16-FEB-93	357.12	144.00		
19-FEB-93	419.76			
22-FEB-93	341.25			
23-FEB-93	366.97			
24-FEB-93	341.25			
25-FEB-93	365.05			
26-FEB-93	460.67			379.00
27-FEB-93	369.98			260.00

U N A M
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
 AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
 INFLUENTE RESIDUAL

TABLA No. 2

HOJA 2 DE 2

P E C H A	DQO mg/l	DBO5 mg/l	GRASAS Y ACRITES mg/l	S.S.T. mg/l
01-MAR-93	335.74	122.00		164.00
02-MAR-93	437.25			303.00
03-MAR-93				247.00
04-MAR-93	393.05			181.00
05-MAR-93	329.45			205.00
06-MAR-93	244.22			170.00
08-MAR-93	468.48			263.00
09-MAR-93	427.68			362.00
10-MAR-93				
11-MAR-93	424.60	172.00		260.00
12-MAR-93	343.60			150.00
13-MAR-93	420.60			140.00
15-MAR-93				
16-MAR-93	406.19			104.00
17-MAR-93				
18-MAR-93	585.27			393.00
19-MAR-93	386.37	158.00		370.00
20-MAR-93	496.32			153.00
22-MAR-93	328.00			200.00
23-MAR-93	342.43			
24-MAR-93	426.68			324.00
25-MAR-93	313.89			292.00
26-MAR-93	309.68			
29-MAR-93	487.08	207.00		231.00
30-MAR-93	428.04			395.00
31-MAR-93				235.00
01-ABR-93				178.00

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
INFLUENTE RESIDUAL

TABLA No. 3

HOJA 1 DE 1

F E C H A	S.S.T. mg/l	S.T.V. mg/l	S.S.V. mg/l	DUREZA TOT mg/l	ALCALINIDAD mg/l	N-NH ₃ mg/l	PO ₄ t. mg/l	ABS mg/l
07-FEB-90	1172.00	502.00	333.00	25.20	270.00	41.00	4.80	13.90
15-FEB-90	1036.00	334.00	94.00	44.40	400.00	39.00	5.70	15.40
21-FEB-90	1032.00	348.00	35.00	33.80	420.00	34.00	4.90	15.80
29-MAR-90	1170.00	320.00	85.00	332.00	380.00	28.00	4.50	14.60
04-MAY-90	926.00	360.00	85.00	84.00	360.00	23.00	7.10	15.90
20-MAR-91	1146.00	390.00		249.00	436.00			
03-ABR-91	1276.00	426.00		324.00	440.00			1.50
24-ABR-91	1300.00	640.00		263.00	418.00			
15-MAY-91	780.00	376.00	332.00	193.00	176.00			10.30
22-MAY-91	1092.00	612.00	480.00	193.00	240.00			6.60
29-MAY-91	1229.00	496.00	304.00	232.00	108.00			2.30
05-JUN-91	768.00	260.00	112.00	227.00	236.00			3.20
26-JUN-91	984.00	92.00	32.00	232.00	267.00			2.00
03-JUL-91	2124.00	316.00	220.00			27.00		0.40
15-JUL-91	2216.00	800.00	732.00			17.00		7.20

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 1

TABLA No. 4

HOJA 1 DE 1

F E C H A	pH Unid.	COLOR Pt-Co	TURBIDIDAD UTJ	CONDUCTIVIDAD Micromhos/cm	SEDIMENTABILIDAD ml/l	OBSERVACIONES
02-FEB-93						
03-FEB-93						
04-FEB-93						
08-FEB-93						
09-FEB-93						
10-FEB-93						
11-FEB-93						
12-FEB-93						
13-FEB-93						
15-FEB-93						
16-FEB-93					95.00	Un ciclo normal, cada 24 horas
19-FEB-93					120.00	
22-FEB-93						
23-FEB-93					110.00	
24-FEB-93						
25-FEB-93						
26-FEB-93	8.44	114.00	21.00	1110.00		
27-FEB-93	8.32	70.00	12.00	1090.00	100.00	
01-MAR-93	8.12	80.00	14.00	1110.00		
02-MAR-93	8.05	84.00	15.00	1040.00		
03-MAR-93	8.04	86.00	17.00	998.00		
04-MAR-93	7.61	66.00	14.00	989.00		
05-MAR-93	8.02	58.00	13.00	954.00	130.00	Dos ciclos de 12 horas con aeración al inicio del llenado.
06-MAR-93	8.03	50.00	11.00	1176.00		
08-MAR-93	7.63	59.00	10.00	1240.00		
09-MAR-93	7.96	150.00	27.00	1320.00	390.00	
11-MAR-93	8.65	92.00	20.00	1394.00		
12-MAR-93	7.32	84.00	13.00	1355.00		
13-MAR-93	8.55	128.00	23.00	1346.00		
16-MAR-93	7.70	83.00	12.00	1396.00		
18-MAR-93	8.11	71.00	11.00	1414.00	250.00	
19-MAR-93	7.86	69.00	12.00	1432.00		
20-MAR-93	7.59	56.00	12.00	1385.00		
22-MAR-93	8.20	60.00	6.00	1334.00	120.00	Un ciclo de 24 horas con aeración al inicio del llenado.
24-MAR-93	8.27	51.00	4.00	1404.00	120.00	
25-MAR-93	7.51	47.00	10.00	1450.00	80.00	
29-MAR-93	8.34	69.00	11.00	1298.00	110.00	
30-MAR-93	8.19	65.00	13.00	1166.00		
31-MAR-93	7.84	58.00	13.00	1236.00	85.00	
01-ABR-93	7.98	66.00	14.00	1205.00	85.00	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 1

TABLA No. 5

HOJA 1 DE 2

F E C H A	DOO mg/l	DBO5 mg/l	S.S.T. mg/l	OBSERVACIONES
02-FEB-93	41.31			
03-FEB-93	32.00			
04-FEB-93	36.00			
06-FEB-93	35.71	13.30		
09-FEB-93	46.12			
10-FEB-93	56.45			
11-FEB-93	54.60			
12-FEB-93	51.58			
13-FEB-93	47.23			
15-FEB-93	54.65			
16-FEB-93	59.52	15.30		Un ciclo normal, cada 24 horas
19-FEB-93	55.44			
22-FEB-93	59.52			
23-FEB-93	58.56			
24-FEB-93	47.61			
25-FEB-93	51.58			
26-FEB-93	58.56		24.00	
27-FEB-93	39.36		1.00	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 1

TABLA No. 5

HOJA 2 DE 2

FECHA	DQO mg/l	DBO5 mg/l	S.S.T. mg/l	OBSERVACIONES
01-MAR-93	42.94	5.88	1.00	
02-MAR-93	48.80		1.00	
03-MAR-93			5.00	
04-MAR-93	43.88		3.00	
05-MAR-93	42.63		4.00	Los ciclos de
06-MAR-93	34.34		2.00	12 horas
08-MAR-93	52.70		2.00	con aeración
09-MAR-93	58.32		14.00	al inicio del
10-MAR-93				llenado.
11-MAR-93	54.04	17.20	5.00	
12-MAR-93	69.16		3.00	
13-MAR-93	43.65		12.00	
15-MAR-93				
16-MAR-93	49.81		9.00	
17-MAR-93				
18-MAR-93	62.01		5.00	
19-MAR-93	45.45	14.22	4.00	
20-MAR-93	69.56		1.00	Un ciclo de
22-MAR-93	46.00		1.00	24 horas
23-MAR-93	51.17			con aeración
24-MAR-93	55.73		2.00	al inicio del
25-MAR-93	45.93			llenado.
26-MAR-93	54.88		4.00	
29-MAR-93	47.52	12.42	1.00	
30-MAR-93	41.67		1.00	
31-MAR-93			5.00	
01-ABR-93			7.00	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 2

TABLA No. 6

HOJA 1 DE 1

F E C H A	pH Unidad	COLOR Pt-Co	TURBIEDAD UTJ	CONDUCTIVIDAD Micromhos/cm	SEDIMENTABILIDAD ml/l	OBSERVACIONES
02-FEB-93						
03-FEB-93						
04-FEB-93						
08-FEB-93						
09-FEB-93						
10-FEB-93						
11-FEB-93						
12-FEB-93						
13-FEB-93						
15-FEB-93						
16-FEB-93						
19-FEB-93					130.00	
22-FEB-93						
23-FEB-93					125.00	
24-FEB-93						
25-FEB-93						
26-FEB-93	7.87	196.00	37.00	1135.00		
27-FEB-93	8.08	102.00	18.00	1090.00	135.00	
01-MAR-93	8.05	125.00	17.00	1020.00		
02-MAR-93	8.01	152.00	27.00	970.00		
03-MAR-93	7.99	105.00	19.00	1012.00		
04-MAR-93	7.77	74.00	15.00	983.00		
05-MAR-93	8.04	79.00	15.00	942.00	200.00	
06-MAR-93	7.93	60.00	11.00	1190.00		
08-MAR-93	7.66	95.00	16.00	1258.00		
09-MAR-93	7.87	214.00	40.00	1342.00	440.00	
11-MAR-93	8.43	108.00	23.00	1412.00		
12-MAR-93	8.11	133.00	24.00	1395.00		
13-MAR-93	8.40	158.00	28.00	1415.00		
16-MAR-93	7.80	66.00	13.00	1414.00		
18-MAR-93	7.99	86.00	14.00	1420.00	460.00	
19-MAR-93	7.60	92.00	15.00	1443.00		
20-MAR-93	7.81	62.00	17.00	1410.00		
22-MAR-93	8.19	66.00	7.00	1372.00	440.00	
24-MAR-93	7.93	57.00	5.00	1487.00	400.00	
25-MAR-93	7.56	60.00	10.00	1415.00	500.00	
29-MAR-93	8.48	77.00	12.00	1314.00	630.00	
30-MAR-93	8.18	92.00	15.00	1259.00		
31-MAR-93	7.88	89.00	17.00	1229.00	700.00	
01-ABR-93	8.02	90.00	16.00	1208.00		

Dos ciclos
normales
cada 12 horas

Dos ciclos de
12 horas
con aeración
al inicio del
llenado.

ciclo 24 hrs

Dos ciclos de
12 horas
con aeración
al inicio del
llenado.

U N A M
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
 AGUAS DEL INTERCEPTOR FONIENTE
 EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 2

TABLA No. 7

HOJA 1 DE 2

F E C H A	DQO mg/l	DBO5 mg/l	S.S.T. mg/l	OBSERVACIONES
02-FEB-93	52.00			
03-FEB-93	60.00			
04-FEB-93	60.00			
08-FEB-93	46.61	18.62		
09-FEB-93	61.50			
10-FEB-93	64.51			
11-FEB-93	64.67			
12-FEB-93	67.45			
13-FEB-93	74.78			
15-FEB-93	62.46			Dos ciclos normales cada 12 horas
16-FEB-93	67.45	18.72		
19-FEB-93	71.28			
22-FEB-93	83.32			
23-FEB-93	70.27			
24-FEB-93	65.55			
25-FEB-93	67.61			
26-FEB-93	66.37		33.00	
27-FEB-93	47.23		5.00	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 2

TABLA No. 7

HOJA 2 DE 2

FECHA	DQO mg/l	DBO5 mg/l	S.S.T. mg/l	OBSERVACIONES
01-MAR-93	50.75	13.77	3.00	Dos ciclos normales cada 12 horas
02-MAR-93	56.60		17.00	
03-MAR-93			7.00	
04-MAR-93	59.15		5.00	
05-MAR-93	50.39		7.00	
06-MAR-93	49.61		2.00	
08-MAR-93	60.51		6.00	
09-MAR-93	69.98		26.00	
10-MAR-93				
11-MAR-93	55.36	18.23	12.00	
12-MAR-93	90.89		13.00	ciclo 24 hrs
13-MAR-93	87.29		14.00	
15-MAR-93				
16-MAR-93	55.56		10.00	
17-MAR-93				
18-MAR-93	69.77		8.00	
19-MAR-93	71.97	18.32	6.00	
20-MAR-93	78.96		5.00	
22-MAR-93	68.61		3.00	
23-MAR-93	74.78			
24-MAR-93	69.58		4.00	Dos ciclos de 12 horas con aeración al inicio del llenado.
25-MAR-93	62.10			
26-MAR-93	61.16		4.00	
29-MAR-93	63.56	14.32	2.00	
30-MAR-93	53.03		2.00	
31-MAR-93			9.00	
01-ABR-93			10.00	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 3

TABLA No. 8

HOJA 1 DE 1

F E C H A	pH Unidad	COLOR Pt-Co	TURBIEDAD UTJ	CONDUCTIVIDAD Micromhos/cm	SEDIMENTABILIDAD ml/l	OBSERVACIONES
02-FEB-93						
03-FEB-93						
04-FEB-93						
08-FEB-93						
09-FEB-93						
10-FEB-93						
11-FEB-93						
12-FEB-93						
13-FEB-93						Tres ciclos normales cada 8 horas
15-FEB-93						
16-FEB-93					280.00	
19-FEB-93					380.00	
22-FEB-93						
23-FEB-93					330.00	
24-FEB-93						
25-FEB-93						
26-FEB-93	7.85	175.00	30.00	1168.00		
27-FEB-93	8.12	180.00	32.00	1154.00	320.00	
01-MAR-93	7.82	177.00	40.00	1144.00		
02-MAR-93	7.85	230.00	43.00	1040.00		
03-MAR-93	7.90	231.00	46.00	1050.00	520.00	
04-MAR-93	7.84	263.00	48.00	1046.00		
05-MAR-93	8.01	205.00	45.00	1040.00	420.00	
06-MAR-93	7.95	210.00	40.00	1301.00		
08-MAR-93	7.81	204.00	34.00	1364.00		
09-MAR-93	7.82	258.00	50.00	1384.00	360.00	
11-MAR-93	8.84	525.00	100.00	1530.00		
12-MAR-93	8.28	434.00	68.00	1488.00		
13-MAR-93	8.27	480.00	72.00	1497.00		
16-MAR-93	7.87	137.00	30.00	1439.00		
18-MAR-93	7.91	193.00	31.00	1519.00	140.00	
19-MAR-93	7.86	176.00	33.00	1457.00		
20-MAR-93	7.67	124.00	25.00	1418.00		
22-MAR-93	8.00	89.00	11.00	1412.00	370.00	
24-MAR-93	7.85	68.00	11.00	1558.00	405.00	
25-MAR-93	7.51	110.00	20.00	1510.00	460.00	
29-MAR-93	8.40	122.00	24.00	1326.00	490.00	
30-MAR-93	8.22	284.00	52.00	1266.00		
31-MAR-93	7.99	120.00	22.00	1242.00	430.00	
01-ABR-93	8.01	76.00	26.00	1298.00		Dos ciclos de 12 horas con aeración al inicio del llenado.

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 3

TABLA No. 9

HOJA-1 DE 2

FECHA	DQO mg/l	DBO5 mg/l	S.S.T. mg/l	OBSERVACIONES
02-FEB-93	75.12			
03-FEB-93	64.00			
04-FEB-93	88.00			
08-FEB-93	111.14	26.65		
09-FEB-93	107.63			
10-FEB-93	92.74			
11-FEB-93	96.76			
12-FEB-93	95.23			
13-FEB-93	102.33			
15-FEB-93	97.60			
16-FEB-93	87.29	24.50		
19-FEB-93	110.88			
22-FEB-93	103.17			
23-FEB-93	85.88			
24-FEB-93	81.42			
25-FEB-93	79.36			
26-FEB-93	97.60		35.00	
27-FEB-93	86.59		18.00	

Tres ciclos
normales
cada 8 horas

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR N° 3

TABLA No. 9

HOJA 2 DE 2

F E C H A	DQO mg/l	DBO5 mg/l	S.S.T. mg/l	OBSERVACIONES
01-MAR-93	109.31	23.56	22.00	
02-MAR-93	117.12		29.00	
03-MAR-93			33.00	
04-MAR-93	133.56		28.00	
05-MAR-93	100.77		26.00	Tres ciclos de
06-MAR-93	91.58		29.00	8 horas
08-MAR-93	105.40		20.00	con aeración
09-MAR-93	112.75		35.00	al inicio del
10-MAR-93				llenado.
11-MAR-93	189.14	27.55	77.00	
12-MAR-93	132.39		28.00	
13-MAR-93	194.43		29.00	
15-MAR-93				
16-MAR-93	114.96		16.00	ciclo 24 hrs
17-MAR-93				
18-MAR-93	106.59		19.00	
19-MAR-93	106.06	25.30	19.00	
20-MAR-93	120.32		11.00	
22-MAR-93	98.00		7.00	
23-MAR-93	94.78			Dos ciclos de
24-MAR-93	103.42		3.00	12 horas
25-MAR-93	102.96			con aeración
26-MAR-93	99.40		15.00	al inicio del
29-MAR-93	99.00	24.88	15.00	llenado.
30-MAR-93	106.06		38.00	
31-MAR-93			10.00	
01-ABR-93			22.00	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
LICOR MEZCLADO

TABLA No. 10

HOJA 1 DE 1

FECHA	REACTOR N° 1		REACTOR N° 2		REACTOR N° 3	
	S.S.L.M. mg/l	S.S.V.L.M. mg/l	S.S.L.M. mg/l	S.S.V.L.M. mg/l	S.S.L.M. mg/l	S.S.V.L.M. mg/l
02-FEB-93	2072.00		1944.00		1912.00	
03-FEB-93						
04-FEB-93	2028.00		2300.00		1988.00	
08-FEB-93	1928.00		2228.00		2580.00	
09-FEB-93						
10-FEB-93	1915.00		1775.00		1970.00	
11-FEB-93						
12-FEB-93	1990.00		2150.00		2300.00	
13-FEB-93						
15-FEB-93	2210.00	1505.00	2510.00	1940.00	2185.00	1715.00
16-FEB-93						
19-FEB-93	2115.00	1420.00	2385.00	1725.00	2990.00	2200.00
22-FEB-93	2105.00	1380.00	2110.00	1550.00	2470.00	1830.00
23-FEB-93						
24-FEB-93	2105.00	1240.00	2265.00	1460.00	2248.00	880.00
25-FEB-93						
26-FEB-93	2255.00	1385.00	2305.00	1555.00	1480.00	1035.00
27-FEB-93						
01-MAR-93	1950.00	1280.00	2300.00	1605.00	1010.00	745.00
02-MAR-93						
03-MAR-93						
04-MAR-93	2380.00	1675.00	2415.00	1765.00	675.00	550.00
05-MAR-93						
06-MAR-93	2235.00	1585.00	2280.00	1625.00	1170.00	820.00
08-MAR-93	2450.00	1600.00	1975.00	1410.00	1040.00	785.00
09-MAR-93						
10-MAR-93	2155.00	1520.00	2245.00	1575.00	1160.00	815.00
12-MAR-93						
15-MAR-93	2005.00	1425.00	1750.00	1285.00	830.00	640.00
16-MAR-93						
17-MAR-93	2090.00	1450.00	2055.00	1500.00	955.00	745.00
19-MAR-93	1895.00	1335.00	2070.00	1440.00	1200.00	835.00
20-MAR-93						
22-MAR-93	2030.00	1400.00	1270.00	945.00	1670.00	1210.00
24-MAR-93	2045.00	1380.00	1125.00	820.00	1590.00	1150.00
25-MAR-93						
29-MAR-93	1860.00	940.00	1030.00	385.00	1295.00	560.00
30-MAR-93						
31-MAR-93						
01-ABR-93						

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR FONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR CONTINUO * A *

TABLA No. 11

HOJA 1 DE 1

F E C H A	COLOR Pt-Co	TURBIEDAD UTJ	CONDUCTIVIDAD Micronhos/cm	S.S.T mg/l	OBSERVACIONES
05-MAR-93	76.00	15.00	1293.00	5.00	
08-MAR-93	63.00	13.00	1250.00	4.00	
10-MAR-93					
11-MAR-93	84.00	18.00	1402.00	7.00	
13-MAR-93	80.00	16.00	1325.00	4.00	
15-MAR-93	94.00	14.00	1380.00	8.00	
17-MAR-93	95.00	15.00	1400.00	4.00	
18-MAR-93	79.00	14.00	1378.00	6.00	
19-MAR-93	81.00	13.00	1412.00	4.00	
20-MAR-93	64.00	12.00	1400.00	3.00	
22-MAR-93	64.00	8.00	1400.00	2.00	
23-MAR-93					
24-MAR-93	59.00	5.00	1472.00	7.00	
25-MAR-93	66.00	7.00	1414.00	1.00	
26-MAR-93					
29-MAR-93	50.00	10.00	1462.00	1.00	
30-MAR-93	76.00	13.00	1380.00	3.00	
31-MAR-93	76.00	15.00	1315.00	4.00	
01-ABR-93	63.00	11.00	1242.00	5.00	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTOR CONTINUO " B "

TABLA No. 12

HOJA 1 DE 1

F E C H A	COLOR Pt-Co	TURBIEDAD UTJ	CONDUCTIVIDAD Micromhos/cm	S.S.T mg/l	OBSERVACIONES
05-MAR-93	92.00	21.00	1284.00	6.00	
08-MAR-93	83.00	16.00	1314.00	4.00	
10-MAR-93					
11-MAR-93	110.00	27.00	1360.00	11.00	
13-MAR-93	93.00	72.00	1339.00	6.00	
15-MAR-93	106.00	16.00	1400.00	11.00	
17-MAR-93	87.00	13.00	1240.00	2.00	
18-MAR-93	89.00	15.00	1388.00	6.00	
19-MAR-93	90.00	14.00	1430.00	5.00	
20-MAR-93	71.00	15.00	1400.00	4.00	
22-MAR-93	75.00	9.00	1500.00	3.00	
23-MAR-93					
24-MAR-93	75.00	8.00	1480.00	9.00	
25-MAR-93	85.00	8.00	1460.00	2.00	
26-MAR-93					
29-MAR-93	71.00	12.00	1470.00	1.00	
30-MAR-93	92.00	16.00	1384.00	5.00	
31-MAR-93	77.00	17.00	1342.00	4.00	
01-ABR-93	106.00	15.00	1260.00	8.00	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
EFLUENTE TRATADO REACTORES CONTINUOS

TABLA No. 13

HOJA 1 DE 1

F E C H A	I N F L U E N T E				R E A C T O R * A			R E A C T O R * B		
	pH unid.	DQO mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l	pH unid.	DQO mg/l	DBO5 mg/l	pH unid.	DQO mg/l	DBO5 mg/l
05-MAR-93	7.51				8.21			8.08		
08-MAR-93	7.73				8.17			8.12		
10-MAR-93										
11-MAR-93	7.89	446.57	184.00	362.00	8.95	47.42	22.08	8.40	53.35	25.39
13-MAR-93	7.74	444.41		340.00	8.80	55.55		8.60	57.53	
15-MAR-93	7.60	292.14		174.00	8.38	46.13		8.06	49.97	
17-MAR-93	7.55	307.00		298.00	8.28	61.00		8.28	74.78	
18-MAR-93	7.29	465.12		376.00	8.15	65.10		8.15	67.83	
19-MAR-93	7.19	571.98	228.00	398.00	8.02	51.14	25.08	7.98	66.29	28.73
20-MAR-93	7.11				7.77			7.69		
22-MAR-93	7.55	384.00		190.00	8.47	62.00		8.30	64.00	
23-MAR-93		354.24		208.00		51.17			55.42	
24-MAR-93	8.17				8.31			8.27		
25-MAR-93	8.00	321.55		302.00	8.74	52.10		8.63	57.42	
26-MAR-93		348.88		184.00		52.92			61.92	
29-MAR-93	7.55	352.44	126.00	200.00	8.56	53.56	14.87	8.50	63.56	20.26
30-MAR-93	7.36	348.50		382.00	8.41	51.67		8.30	70.08	
31-MAR-93	6.93	430.00		352.00	8.11	49.03		8.01	59.03	
01-ABR-93	7.66	259.50		150.00	8.08	45.79		7.91	55.80	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
LICOR MEZCLADO REACTORES CONTINUOS

TABLA No. 14

HOJA 1 DE 1

F E C H A	R E A C T O R " A "			R E A C T O R " B "		
	S.S.L.M. mg/l	S.S.V.L.M. mg/l	S.S. ml/l	S.S.L.M. mg/l	S.S.V.L.M. mg/l	S.S. ml/l
05-MAR-93	1715.00	1495.00	100.00	2120.00	1370.00	190.00
08-MAR-93						
10-MAR-93	2840.00	1555.00		3175.00	1680.00	
11-MAR-93						
13-MAR-93	2400.00	1290.00	105.00	2495.00	1380.00	205.00
15-MAR-93	2125.00	1150.00		1580.00	925.00	
17-MAR-93	2195.00	1140.00	95.00	2025.00	1160.00	195.00
18-MAR-93						
19-MAR-93	2010.00	1090.00	95.00	2255.00	1200.00	200.00
20-MAR-93						
22-MAR-93	2565.00	1455.00	110.00	2115.00	1140.00	190.00
23-MAR-93						
24-MAR-93	1840.00	975.00		1960.00	1085.00	
25-MAR-93			100.00			200.00
26-MAR-93						
29-MAR-93	1750.00	595.00	100.00	1925.00	730.00	200.00
30-MAR-93						
31-MAR-93	1980.00	1048.00	125.00	2050.00	1175.00	205.00
01-ABR-93						

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
‡ DE REMOCION REACTOR N° 1

TABLA No. 15

HOJA 1 DE 2

F E C H A	DQO ‡	DBO5 ‡	S.S.T. ‡	OBSERVACIONES
02-FEB-93	86.91			
03-FEB-93	88.41			
04-FEB-93	92.24			
08-FEB-93	89.54	90.00		
09-FEB-93	84.21			
10-FEB-93	61.08			
11-FEB-93	85.28			
12-FEB-93	84.52			
13-FEB-93	87.50			
15-FEB-93	85.11			
16-FEB-93	83.33	89.38		
19-FEB-93	86.79			
22-FEB-93	82.56			
23-FEB-93	84.04			
24-FEB-93	86.05			
25-FEB-93	85.87			
26-FEB-93	87.29		93.67	
27-FEB-93	89.36		99.62	

Un ciclo
normal, cada
24 horas

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
% DE REMOCION REACTOR N° 1

TABLA No. 15

HOJA 2 DE 2

FECHA	DQO %	DBO5 %	S.S.T. %	OBSERVACIONES
01-MAR-93	87.21	95.18	99.39	
02-MAR-93	88.84		99.67	
03-MAR-93			97.98	
04-MAR-93	88.84		98.34	
05-MAR-93	87.06		98.05	
06-MAR-93	85.94		98.88	
08-MAR-93	88.75		99.24	
09-MAR-93	86.36		96.13	
10-MAR-93				
11-MAR-93	87.27	90.00	98.08	
12-MAR-93	79.88		98.00	
13-MAR-93	89.62		91.43	
15-MAR-93				
16-MAR-93	87.74		91.35	
17-MAR-93				
18-MAR-93	89.40		98.73	
19-MAR-93	88.24	91.00	98.92	
20-MAR-93	85.98		99.35	
22-MAR-93	85.98		99.50	
23-MAR-93	85.06			
24-MAR-93	86.94		99.38	
25-MAR-93	85.37			
26-MAR-93	82.28		98.27	
29-MAR-93	90.24	94.00	92.57	
30-MAR-93	90.26		99.75	
31-MAR-93			97.87	
01-ABR-93			96.07	

U N A M
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
 AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
 % DE REMOCION REACTOR N° 2

TABLA No. 16

HOJA 1 DE 2

F E C H A	DQO %	DBO5 %	S.S.T. %	OBSERVACIONES
02-FEB-93	83.52			
03-FEB-93	78.26			
04-FEB-93	87.07			
08-FEB-93	86.34	86.00		
09-FEB-93	78.95			
10-FEB-93	78.38			
11-FEB-93	82.57			Dos ciclos normales cada 12 horas
12-FEB-93	79.76			
13-FEB-93	80.21			
15-FEB-93	82.98			
16-FEB-93	81.11	87.00		
19-FEB-93	83.02			
22-FEB-93	75.58			
23-FEB-93	80.85			
24-FEB-93	80.79			
25-FEB-93	81.48			
26-FEB-93	85.59		91.29	
27-FEB-93	87.23		98.08	

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
† DE REMOCION REACTOR N° 2

TABLA No. 16

HOJA 2 DE 2

FECHA	DQO t	DBO5 t	S.S.T. t	OBSERVACIONES
01-MAR-93	84.88	88.71	98.17	Dos ciclos normales cada 12 horas
02-MAR-93	87.06		94.39	
03-MAR-93			97.17	
04-MAR-93	84.95		97.24	
05-MAR-93	84.71		96.59	
06-MAR-93	79.69		98.88	
08-MAR-93	87.08		97.72	
09-MAR-93	83.64		92.82	
10-MAR-93				
11-MAR-93	86.96	89.40	95.38	
12-MAR-93	73.56		91.33	
13-MAR-93	79.25		90.00	
15-MAR-93				ciclo 24 hrs
16-MAR-93	86.32		90.38	
17-MAR-93				
18-MAR-93	88.08		97.96	
19-MAR-93	81.37	88.41	98.38	
20-MAR-93	84.09		96.73	
22-MAR-93	79.08		98.50	
23-MAR-93	78.16			Dos ciclos de 12 horas con aeración al inicio del llenado.
24-MAR-93	83.69		98.77	
25-MAR-93	80.22			
26-MAR-93	80.25		98.63	
29-MAR-93	86.95	93.08	99.13	
30-MAR-93	87.61		99.49	
31-MAR-93			96.17	
01-ABR-93			94.38	

U N A M
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
 AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
 † DE REMOCION REACTOR N° 3

TABLA No. 17

HOJA 1 DE 2

F E C H A	DQO †	DBO5 †	S.S.T. †	OBSERVACIONES
02-FEB-93	76.19			
03-FEB-93	76.81			
04-FEB-93	81.03			
08-FEB-93	67.43	79.96		
09-FEB-93	63.16			
10-FEB-93	68.92			
11-FEB-93	73.91			
12-FEB-93	71.43			
13-FEB-93	72.92			
15-FEB-93	73.40			
16-FEB-93	75.56	82.99		
19-FEB-93	73.58			
22-FEB-93	69.77			
23-FEB-93	76.60			
24-FEB-93	76.14			
25-FEB-93	78.26			
26-FEB-93	78.81		90.77	
27-FEB-93	76.60		93.08	

Tres ciclos
 normales
 cada 8 horas

U N A M
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
½ DE REMOCION REACTOR N° 3

TABLA No. 17

HOJA 2 DE 2

F E C H A	DQO %	DBO5 %	S.S.T. %	OBSERVACIONES
01-MAR-93	67.44	80.69	86.59	
02-MAR-93	73.21		90.43	
03-MAR-93			86.64	
04-MAR-93	66.02		84.53	
05-MAR-93	69.41		87.32	
06-MAR-93	62.50		83.71	
08-MAR-93	77.50		92.40	
09-MAR-93	73.64		90.33	
10-MAR-93				
11-MAR-93	55.45	83.98	70.38	
12-MAR-93	61.49		81.33	
13-MAR-93	53.77		79.29	
15-MAR-93				
16-MAR-93	71.70		84.62	ciclo 24 hrs
17-MAR-93				
18-MAR-93	81.79		95.17	
19-MAR-93	72.55	83.99	94.86	
20-MAR-93	75.76		92.81	
22-MAR-93	70.12		96.50	
23-MAR-93	72.32			
24-MAR-93	75.76		99.07	
25-MAR-93	67.20			
26-MAR-93	67.90		94.86	
29-MAR-93	79.67	87.98	93.51	
30-MAR-93	75.22		90.38	
31-MAR-93			95.74	
01-ABR-93			87.64	

U N A M
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS
 AGUAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE
 † DE REMOCION REACTORES CONTINUOS

TABLA No. 18

HOJA 1 DE 1

F E C H A	R E A C T O R			R E A C T O R		
	DQO %	DBO5 %	" A " S.S.T. %	DQO %	DBO5 %	" B " S.S.T. %
05-MAR-93						
08-MAR-93						
10-MAR-93						
11-MAR-93	89.38	88.00	98.07	88.05	86.20	96.96
13-MAR-93	87.50		98.82	87.05		98.24
15-MAR-93	84.21		95.40	82.90		93.68
17-MAR-93	80.13		98.66	75.64		99.33
18-MAR-93	86.00		98.40	85.42		98.40
19-MAR-93	91.06	89.00	98.99	88.41	87.40	98.74
20-MAR-93						
22-MAR-93	83.85		98.95	83.33		98.42
23-MAR-93	85.55			84.36		
24-MAR-93						
25-MAR-93	83.80		99.67	82.14		99.34
26-MAR-93	84.83			82.25		
29-MAR-93	84.80	88.20	99.50	81.97	83.90	99.50
30-MAR-93	85.17		99.21	79.89		98.69
31-MAR-93	88.60		98.86	86.27		90.86
01-ABR-93	82.35		96.67	78.50		94.67

GLOSARIO DE TERMINOS (31).

Abultamiento : Es el fenómeno de pobre sedimentación de los lodos activados.

Acuacultura : Aplicación de técnicas para el cultivo de peces o de otros organismos acuáticos.

Absorción : La introducción de una sustancia dentro del cuerpo de otra.

Adsorción : La adherencia de un gas, líquido o material disuelto en la superficie de un sólido.

Aeración : Fenómeno de transferencia de oxígeno al poner en contacto el líquido con el aire.

Aerador : Equipo mecánico usado para realizar el contacto del agua con el aire.

Aeración extendida : Proceso de tratamiento.

Aerobio : Condición en presencia de oxígeno libre.

Anaerobio : Condición de ausencia de oxígeno libre.

Aguas residuales : Líquido de composición variada y en ocasiones compleja, procedente de los diferentes usos domésticos, comerciales, públicos e industriales, mezclado o no con agua de lluvia.

Aguas residuales domésticas : Aguas residuales provenientes de usos doméstico y comerciales, sin influencia industrial.

Aguas residuales crudas : Son las que no han recibido tratamiento alguno, es decir que se encuentran tal cual se genera.

Bajo dren : Estructura que soporta un medio filtrante y que se usa además para manejar el agua filtrada.

Biodisco : Proceso de tratamiento en condiciones aerobias y del tipo de biomasa fija con movimiento del medio de soporte de la biomasa.

Biogas : Mezcla de gases producto de una fermentación anaeróbica, con un alto contenido de metano y bióxido de carbono.

Biomasa : Conjunto de microorganismos activos que degradan a la materia orgánica.

Biomasa fija : Biomasa adherida a un medio de soporte, pudiendo ser un medio fijo o en movimiento.

Biomasa suspendida : Biomasa que se mantiene en suspensión por medios mecánicos o por acción del aire introducido al líquido.

Bordo libre : Espacio que se deja deliberadamente entre el nivel del líquido y el nivel superior de una unidad, para evitar desbordamientos del agua.

Cámara séptica : Espacio dentro de una fosa séptica en donde se lleva en forma conjunta los procesos de sedimentación y de digestión de lodos.

Caracterización del agua : Procedimiento mediante análisis físico, fisicoquímicos y biológicos, que determinan los constituyentes que lleva consigo el agua.

Carga orgánica : Contenido del material orgánico disuelto y el suspendido en el agua.

Carga superficial : Cantidad de agua aplicada por unidad de superficie y por tiempo, también definida como velocidad de sedimentación.

Clarificación : Proceso o combinación de procesos cuya finalidad principal es la reducción de material suspendido en el agua, en aguas residuales comúnmente usado como sinónimo de sedimentación.

Cloración : Adición de cloro gas o líquido para la eliminación o reducción de gérmenes patógenos en el agua.

Concentración de saturación de oxígeno : Cantidad máxima de oxígeno que puede disolver el agua a una temperatura y presión dadas.

Condiciones particulares de descarga : Parte del mecanismo oficial establecido por la Secretaría de Desarrollo Social para dictaminar la cantidad máxima de contaminantes que puede verter un responsable de descarga de aguas residuales.

Contaminación del agua : Presencia en el agua de materia o sustancia que afecta o modifica las condiciones naturales de la misma y que interfiere en sus usos benéficos o que perjudican o molestan a la vida acuática.

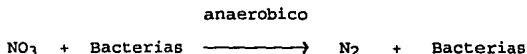
Cuerpo receptor : Cuerpo de agua superficial o subterránea, al que son vertidos en forma directa o indirecta aguas residuales.

DBO : Abreviatura de Demanda Bioquímica de Oxígeno, es una medida de la cantidad de oxígeno utilizada por la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un tiempo y a una temperatura específicos. Como oxidación bioquímica se

entiende al proceso metabólico de microorganismos que se alimentan de materia orgánica. DBO_5 es la DBO al quinto día y 20 C, DBO_u es la DBO última o después de 20 días y 20 C.

DBO soluble : Demanda Bioquímica de Oxígeno originada por materia orgánica disuelta en el agua.

Denitrificación : Reducción biológica anaerobia del nitrógeno de nitratos a gas nitrógeno. La ecuación que expresa la denitrificación es como sigue :



Desinfección : Eliminación o reducción de organismos patógenos en el agua.

Digestión de lodos : Proceso cuya finalidad es la reducción de materia orgánica en los lodos subproducto de un tratamiento. El proceso puede ser en condiciones aerobias o anaerobias.

Digestor : Unidad de proceso en el cual se lleva a cabo la digestión de lodos. El término se usa normalmente para proceso anaerobio.

DQO : Abreviatura de Demanda Química de Oxígeno, es la medida cuantitativa de la cantidad de oxígeno necesario por una muestra para transformar completamente todo el carbón presente a CO_2 , mediante una oxidación química.

Edad de lodos : Es la edad promedio de la colonia de microorganismos. Se espera que la edad de los microorganismos

esté entre 6 y 14 días. La edad se puede correlacionar fácilmente con las propiedades de floculación.

Efluente : Se designa así al líquido que sale de una unidad de proceso.

Estabilización de lodos : Tratamiento de lodos en forma líquida con la finalidad de facilitar su secado o manejo posterior, usualmente con adición de productos químicos. En algunos casos se usa como sinónimo de digestión de lodos cuya finalidad es hacerlos inertes con la reducción de materia orgánica.

Estabilización de materia orgánica : Reducción en el contenido de sustancias orgánicas, convirtiéndolas en compuestos inorgánicos más simples y no susceptibles de degradación biológica.

Floculación : Aglomeración de partículas coloidales de materia suspendida y finamente dividida. Esta aglomeración se efectúa después de la adición de productos químicos (coagulación) y manteniendo en contacto, por agitación controlada, a todas las partículas presentes en el agua.

Flotación : Proceso cuyo objetivo es separar material emulsionado con el agua, generalmente grasas y aceites.

Fosa séptica : Unidad de tratamiento generalmente enterrada y que combina los procesos de sedimentación y digestión anaerobia de lodos, usadas para tratamientos individuales a pequeños grupos de población.

F/M : Expresión en inglés de la relación alimento/microorganismos es decir, el contenido de materia orgánica contra la cantidad de biomasa.

Flóculo disperso : Son las bacterias que forman pequeños flóculos, pero no tienden a aglomerarse para formar flóculos grandes. Esto ocurre cuando la edad de los lodos es alta o la relación F/M es baja.

Influente : Se designa así al líquido que entra a una unidad de proceso.

Licor mezclado : La mezcla de aguas residuales crudas o sedimentadas y la biomasa o lodos activos, contenida en un tanque de aeración en el proceso de lodos activados.

Lodos : Término genérico usado para denominar el material orgánico no disuelto en el agua y que normalmente es separado del agua por sedimentación.

Lodos activados : Proceso de tratamiento biológico en condiciones aerobias y del tipo de biomasa suspendida, en donde la mezcla de aguas residuales y masa activa de microorganismos es agitada y aireada. Los lodos son posteriormente separados por sedimentación y desechados o retornados al proceso.

Lodos crudos : Sólidos separados de las aguas residuales, aún en forma líquida y que no han recibido tratamiento o acondicionamiento alguno.

Lodos digeridos : Sólidos a los cuales se les ha sometido a un proceso de digestión y cuyo contenido de materia orgánica es significativamente menor, al grado de considerarlos

inertes, sin producir malos olores, pero aún en fracción líquida.

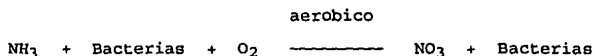
Materia orgánica coloidal : Sólidos suspendidos de carácter orgánico y finamente divididos y que fácilmente se adhieren (coalescen) entre sí.

Medio filtrante : Material inorgánico (arena, antracita, grava, etc.) por la cual se hace pasar el agua y que retiene a los sólidos en suspensión.

Metabolismo : Proceso bioquímico dentro de los seres vivos, mediante el cual aprovechan la comida, convirtiéndola en energía, síntesis de material celular y crecimiento, desechando productos de bajo peso molecular y generalmente inertes.

Metales pesados : Término genérico para denominar a elementos (metales) de alto peso atómico, considerados como elementos contaminantes, generalmente tóxicos y en algunos casos bioacumulativos (acumulativos dentro de la estructura celular dentro de los microorganismos).

Nitrificación : es la oxidación del nitrógeno amoniacal a nitratos por las bacterias. Se puede presentar en forma de ecuación como sigue:



Nitrógeno amoniacal : Cantidad de nitrógeno elemental presente en forma de amoniaco (NH_3).

Nutrientes : Generalmente aplicada a compuestos de nitrógeno y fósforo, sin embargo, es cualquier sustancia que puede ser asimilada por organismos y que provoca su crecimiento.

Oxígeno disuelto : cantidad de oxígeno libre en el agua o en otro líquido generalmente expresado en miligramos por litro (ppm) o en porcentaje de saturación y abreviado como OD.

Oxidación completa : Estabilización de la materia orgánica.

pH : Medida de la concentración de iones hidrógeno en solución. Con una escala de 0 a 14, el valor de 7 representa condiciones neutras, valores menores a 7 condiciones de acidez y mayores de 7 alcalinidad.

Pretratamiento : Término genérico para aquellas unidades de tratamiento que tienen como finalidad retirar componentes del agua residual que puedan causar problemas posteriores en equipo o que afecten la operación normal de una planta de tratamiento.

RAS : Abreviaturas de Relación de Absorción de Sodio, muy importante cuando se usa el agua residual en riego, es una expresión de la actividad relativa de iones sodio en reacciones de intercambio con el suelo, indicando los riesgos de alcalinidad o alto contenido de sodio en el suelo.

Recarbonatación : En procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales, se utiliza la adición de dióxido de carbono para ajustar el pH.

Relleno sanitario : Método controlado de disposición de basuras.

SS : Abreviatura de Sólidos Sedimentables, es la materia en aguas residuales que sedimenta en un período corto (1 hora), se determina por el residuo sedimentado en una hora en un cono Imhoff.

SST : Sólidos Suspendidos Totales, son sólidos orgánicos e inorgánicos insolubles que se mantienen o son mantenidos en suspensión (por agitación) y que contienen una fracción fija (SSF) y una volátil (SSV).

ST : Sólidos Totales, es el contenido de materia disuelta, suspendida, fija y volátil en las aguas residuales.

STV : Sólidos Totales Volátiles, fracción volátil (generalmente orgánica) de los sólidos totales.

Sedimentación primaria : Unidad de tratamiento de tipo físico, cuya finalidad es la separación de sólidos suspendidos y material flotante.

Sedimentación secundaria : Unidad de tratamiento cuya finalidad es la sedimentación de biomasa o lodos activos, parte de los cuales se recircula al proceso y el excedente se desecha.

Sustrato : es la sustancia en la cual se encuentran los microorganismos en suspensión.

Síntesis : Es la producción de nuevas células.

SVI : Índice de Volumen de los Lodos, esta prueba nos muestra la característica de sedimentación de los lodos. Mientras más bajo sea el valor mejor es la característica de sedimentación de los lodos.

Tiempo de retención : Es el tiempo que tarda en pasar el agua a través de una unidad de proceso.

Tirante de agua : Dimensión entre el nivel del líquido y el fondo de una unidad de proceso.

ZSV : Velocidad de Sedimentación Zonal, es la velocidad a la cual el colchón de lodos desciende en cuanto entran al clarificador.

12.0 BIBLIOGRAFIA

- 1.- Conn, E.E. and P.K. Stumpf. 1976. Outline of Biochemistry 4th.Ed., John Wiley and Sons Inc.
- 2.- Lehninger, L.A. 1975. Biochemistry. 2nd. Ed. Worth Publisher Inc.
- 3.- Dugan, R.P. 1972. Biochemical Ecology of Water Pollution, Plenum Press.
- 4.- Magalef, R. 1974 Ecología. Ediciones Omega S.A.
- 5.- Rey and Lacy. 1974 Industrial Waste Treatment, AICHE Symposium Series. No. 144 vol. 70.
- 6.- Binilla M. U. 1980. Problemática de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1:157.
- 7.- Departamento del Distrito Federal, 1975. Memorias de las Obras Del Sistema de drenaje Profundo del Distrito federal. 1:34.
- 8.- Primer Diplomado de Química Ambiental del Agua, Facultad de Química. México, D.F., 1991.
- 9.- Aguas Residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Impactos y Perspectivas, Fundación Friedrich Ebert, D.D.F., 1989.
- 10.- Agua y Drenaje Metropolitanos. Compiladores Guillermo Ramírez H. y Noemí Stolarski R. México, 1993.
- 11.- Metcalf and Eddy, Inc., Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal, McGraw-Hill Book Co., 1972.

- 12.- ACCISA, CUTE, EPINAGISA, KROFTA. Tratamiento de aguas residuales industriales y sus soluciones, 1991.
- 13.- Junkins R., Denny K., The activated sludge process: fundamentals of operation, Ann Arbor Science, 1983.
- 14.- Irvine, R. L., et al., "Sequencing batch treatment of wastewater in rural areas." J. Water Pollut. Control Fed., 51, 235 (1979).
- 15.- Wesley O. P., "Ecological study of activated sludge", Advances in Applied Microbiology, 8 (1966)
- 16.- Dennis, R.L., and Irvine, R. L., "Effect of Fill: React Ratio on Sequencing Batch Biological." J. Water Pollut. Control Fed., 51, 255 (1979).
- 17.- Irvine, R.L., and Bush, A. W., "Sequencing Batch biological reactors - an overview." J. Water Pollut. Control Fed., 51, 235 (1979).
- 18.- Irvine, R. L., et al., "Municipal application of sequencing batch treatment." J. Water Pollut. Control Fed., 44, 848 (1983).
- 19.- Madan, L. A., Edwin, F. B., and Margaret, B. U., "Technology evaluation of sequencing batch reactors" J. Water Pollut. Control Fed., 57, 8 (1985).
- 20.- Halmos, E. E. "Treating sewage one tank." Civil Engineering, 4, 64 (1986).
- 21.- John, F. M. and Irvine, R. L. "The biological removal of phosphorus in a sequencing batch reactor" J. Water Pollut. Control Fed., 57, 1 (1985).

- 22.- Hoepker, E. C., Schroeder, E. D. "The effect of loading rate on batch - activated sludge effluent quality." J. Water Pollut. Control Fed., 51, 2 (1979).
- 23.- Tratamiento y depuración de las aguas residuales.
- 24.- Melcer, H. et al., "Conversion of small municipal wastewater treatment plants to sequencing batch reactors." J. Water Pollut. Control Fed., 59, 2 (1987).
- 25.- Orhon, D., Cimisit, Y., and Tunay, O., "Substrate removal mechanism for sequencing batch reactors." Wat. Sci. Tech., 18, pp. 21-33, (1986).
- 26.- Comeau, Y., Hall K. J., and Oldham, W. K., "A biochemical model for biological enhanced phosphorus removal." Wat. Sci. Tech., 17, pp 313-314, (1985).
- 27.- Okada, M. Terazono, K. and Sudo R., "Removal of nutrients and BOD from Soybean Fermentation wastewater in a ten-year-old sequencing batch reactor activated sludge process." Wat. Sci. Tech. 22, 9 (1990).
- 28.- Okada, M. and Sudo, R., "Performance of sequencing batch reactor activated sludge process for simultaneous removal of nitrogen phosphorus and BOD as applied to small community sewage treatment." Wat. Sci. Tech., 18, pp 363-370 (1986).
- 29.- Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater; APHA, AWWA, WEF.

30.- Caracterización Fisicoquímica del Agua Residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México. Tesis. Rodrigo Osorio. 1990.

31.- MOP/11 Operation of Wastewater Treatment Plants, A manual of practice. Water Pollution Control Federation, 1976.