



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

“ ESTUDIO SOBRE LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FOSFATOS EN UN CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO QUIMICO

PRESENTA :

LUIS ALBERTO LOROZCO BENAVIDES

ASESOR : I. Q. MARGARITA ALONSO ESPINOZA

CUAUTITLAN IZCALLI ESTADO DE MÉXICO 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MEXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

COMISION DE EXAMENES
EXAMENES DE INGENIERIA
EXAMENES DE INGENIERIA



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

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

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

" Estudio sobre la remoción de nitrógeno y fosfatos en un contactor biológico rotatorio."

que presenta el pasante: Luis Alberto Orozco Benavides
con número de cuenta: 9353904-7 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico

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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de Abril de 2000

PRESIDENTE I.B.Q. Fernando Beristain *Beristain*

VOCAL Dr. Adolfo Obaya Valdivia *Obaya*

SECRETARIO I.Q. Margarita Alonso Espinoza *Alonso*

PRIMER SUPLENTE I.B.Q. Jaime Flores Minutti *Flores*

SEGUNDO SUPLENTE I.Q. Graciela Delgadillo Garcia *Delgadillo*

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres por haberme dado la oportunidad de recibir una educación superior, por su apoyo comprensión y cariño.

A mi mamá en especial por siempre tener una palabra de aliento en los momentos más difíciles.

A mi papá por todas sus enseñanzas.

A Victor y Mony mis hermanos que siempre me han apoyado

A la profesora Margarita Alonso por su paciencia, tiempo y los conocimientos que me transmitió para poder concluir este trabajo.

A todos los profesores de la Facultad por haberme dado sus conocimientos.

A mis amigos que siempre han estado ahí.

A todos mis compañeros de la Facultad.

INDICE

	Págs.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Procesos Biológicos de Tratamiento	3
1. OBJETIVOS	9
2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
2.1. Ubicación de la zona de muestreo	11
2.2. Muestreo	12
3. DESCRIPCIÓN DEL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO	13
3.1. Antecedentes Históricos	13
3.2. Funcionamiento del CBR	14
3.2.1. Efecto de la velocidad de rotación	17
3.2.2. Efecto del numero de etapas en un sistema CBR	18
3.2.3. La remoción de la demanda de oxígeno	19
3.2.4. Producción de lodos y características del licor mezclado	20
3.2.5. Tiempo de residencia	21
3.2.6. La temperatura del agua residual	22
3.2.7. Características de la remoción de nitrógeno	22
3.3. Parámetros de diseño de los CBR	23
3.3.1. Carga hidráulica	23
3.3.2. Etapas y Arreglos	24
3.3.3. Otros parámetros de diseño	25
3.3.4. Parámetros de diseño alternativos	25
4. CRITERIOS PARA LA CALIDAD DEL AGUA	33

5. DISEÑO EXPERIMENTAL	37
5.1. Operación del Contactor Biológico Rotatorio	37
5.2. Condiciones de operación para la parte experimental	39
5.3. Arranque del sistema de tratamiento CBR con agua del Interceptor Poniente	39
5.4. Condiciones de operación	41
6. RESULTADOS EXPERIMENTALES	42
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
8. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS	52
8.1. Diagrama de bloques de la planta de tratamiento	53
8.2. Parámetros de diseño requeridos	53
8.3. Equipo utilizado para el tratamiento de aguas	54
CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFIA	64
ANEXOS	68
Anexo 1. Resultados experimentales para cada fecha de experimentación	69
Anexo 2. Fechas de muestreo de agua residual	76
Anexo 3. Gráfica utilizada para la obtención de la constante de velocidad	77
INDICE DE FIGURAS	78
INDICE DE GRÁFICAS	79
INDICE DE TABLAS	80

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en el laboratorio de tratamiento de aguas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1, el cual muestra los resultados y conclusiones más importantes del estudio del comportamiento de un Reactor Contactador Biológico Rotatorio (CBR) al tratar aguas residuales del Interceptor Poniente, esto con la finalidad de evaluar principalmente los siguientes parámetros.

- **Nitrógeno Amoniacal**

- **Fosfatos**

Al evaluar las condiciones de entrada y salida de agua, se realizó el diseño de un Contactador Biológico Rotatorio tomando como principal parámetro la nitrificación, usando un modelo cinético de orden cero.

Este diseño se realizó con la finalidad de utilizar el agua del Interceptor Poniente para fines agrícolas.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el agua, elemento vital para todos los seres vivos, está cada vez más limitada debido a la creciente demanda del líquido por los grandes asentamientos humanos como el Valle de México, comprendido por el Distrito Federal y todos los municipios conurbados; esta excesiva demanda de agua causó un daño en los entornos, fuentes de agua, flora y fauna, ya que ésta se convierte en un desecho masivo de aguas residuales, las cuales tienen como disposición final mantos acuíferos, ríos y el mar.

Lo anterior se traduce en la necesidad de reutilizar el agua para evitar el exceso de contaminación de los suelos, mantos acuíferos y cubrir algunas necesidades específicas de requerimiento de agua como son: el riego, reuso para limpieza, uso industrial y otros.

De la necesidad apremiante de tratar las aguas de desechos, se han derivado diversos procesos que son económicamente posibles, accesibles para lograr dicho fin, los más socorridos por las plantas de tratamiento, debido a su versatilidad, economía, y relativo fácil manejo, son los procesos biológicos aerobios, los que se dividen en varios métodos, ya sea mediante lodos activados, de película fija, entre otros. El propósito de éstos es el mismo,

remover los contaminantes del agua a niveles permitidos para evitar concentraciones a las cuales el agua se considera como contaminada.

La presente investigación tuvo por objeto tratar el agua proveniente del Interceptor Poniente mediante un tratamiento de sistema biológico de película fija conocido como un Contactador Biológico Rotatorio o Biodisco, para observar el comportamiento de éste con respecto a dos sustancias, específicamente el Nitrógeno Amoniacal y los Fosfatos.

Procesos biológicos de tratamiento. ^(1.8.13)

En el tratamiento biológico de aguas residuales encontramos los diversos procesos que podemos clasificar de la siguiente manera:

- Procesos aerobios
- Proceso anaerobios
- Procesos anóxicos
- Proceso aerobios anóxicos o anaerobios anóxicos.

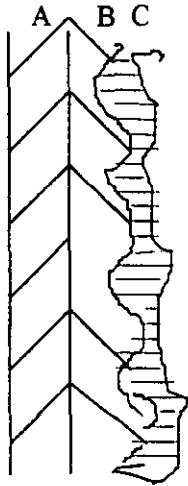
En este caso nos encontramos con un sistema de película biológica activa. Dentro de la película biológica activa existen diferentes fenómenos, en los cuales podemos encontrar a los microorganismos, que son responsables de la conversión de materia orgánica u otros componentes del agua residual a materia de desecho y tejido celular, dichos microorganismos crecen adheridos

al medio fijo formando una capa, ésta se encuentra pegada al sistema de soporte.

Sobre la película biológica fluye el agua residual en forma de una delgada película de agua, de esta manera el oxígeno atmosférico se disuelve dentro de la película de agua que se encuentra sobre la película biológica, de esta manera es transferido el oxígeno a la película biológica y el material orgánico disuelto en el seno del líquido es absorbido en la película.

La biopelícula es formada en el momento que los microorganismos, como partículas cargadas, son absorbidos y fijados en la interfase solidolíquido para posteriormente multiplicarse por varias generaciones, formando una biopelícula compacta.

Cuando la biopelícula se encuentra ya formada, el oxígeno difundido hacia el interior de la película es consumido inmediatamente por la capa superior, por esta razón la parte cercana al medio fijo se comienza a volver una película anaerobia. Al suceder esto, la biocapa de la parte interior pasa a un crecimiento exógeno, propiciando la caída o desprendimiento de la biocapa, esto combinado con la formación de bolsas de gas, consecuencia del ambiente anaerobio y los esfuerzos cortantes, resultado del roce con el agua.



- A.- Medio de anclaje.
- B.- Biomasa fija.
- C.- Película de agua residual.

FIGURA 1. PELÍCULA PSEUDOHOMOGÉNEA DE UN REACTOR DE PELÍCULA FIJA.

En las partes en las cuales la biocapa se desprende, crece nueva y es por eso se conoce como una biocapa autoregurable. La biocapa llegará a su máxima eficiencia cuando la totalidad de la capa sea delgada y aerobia.

Lo importante de este estudio es la relación de la remoción de nitrógeno amoniacal la cual está íntimamente ligada con la nitrificación llevada a cabo dentro de la biopelícula.

La nitrificación no comienza hasta que la cantidad de Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO_5) y las correspondientes poblaciones grandes de organismos heterótrofos han sido disminuidas adecuadamente. La razón por la que los organismos heterótrofos y autótrofos nitrificadores no coexisten en cantidades iguales todavía no se ha entendido.

Los niveles ideales de pH para que se lleve a cabo la nitrificación (7.0 a 8) aparecen simultáneamente con nivel bajo de DBO₅, pero a niveles de pH por debajo de los óptimos (6.6 a 7.0), la nitrificación no aparece hasta que el DBO₅ es totalmente removido. La cantidad de nitrificación lograda está relacionada con la carga hidráulica del sistema, usualmente expresada como el volumen de agua residual aplicada por unidad de área cuadrada.

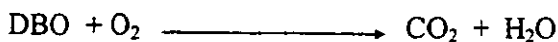
El nitrógeno contenido en el agua residual se puede encontrar en forma de urea y materia proteica, conforme el agua va adquiriendo mayor edad la cantidad de nitrógeno aumenta, producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

El nitrógeno amoniacal, presente en el agua residual, es un importante parámetro de control para la determinación de la calidad de las aguas residuales, ya que éste es letal para las especies acuáticas en concentraciones que van de 0.25 a 0.30 mg/lt. La conversión del nitrógeno amoniacal por medio de un proceso biológico, es el nitrato, que es de gran importancia para el crecimiento, desarrollo y asimilación de las plantas.

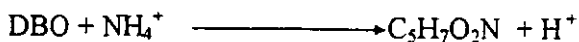
El principio de la remoción biológica inducida del nitrógeno amoniacal en aguas residuales está basado en la actividad de poblaciones bacterianas nitrificantes y desnitrificantes, así como su capacidad de oxidar secuencialmente para reducir el nitrógeno de amoniaco a nitratos y de nitratos a nitrógeno gas.

A continuación veremos las reacciones bioquímicas que están relacionadas directamente con la nitrificación:

Oxidación de la demanda bioquímica de oxígeno.



Crecimiento heterotrófico.



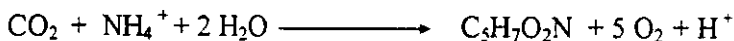
Hidrólisis del nitrógeno orgánico soluble. (NOS)



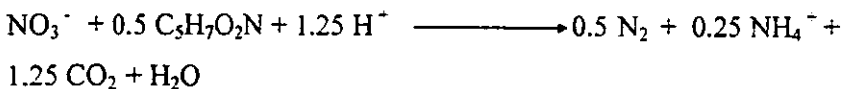
Nitrificación.



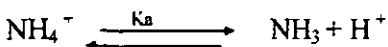
Crecimiento autótrofo.



Desnitrificación.



Ionización del amoníaco.



Los fosfatos se encuentran en las aguas residuales y tienen como fuente principal los detergentes y productos utilizados en la industria, para el ablandamiento del agua de proceso es importante reducir la cantidad de estos elementos en el agua residual que será reutilizada, con el fin de evitar la hiperfertilización de los suelos y grandes concentraciones en el agua de descarga.

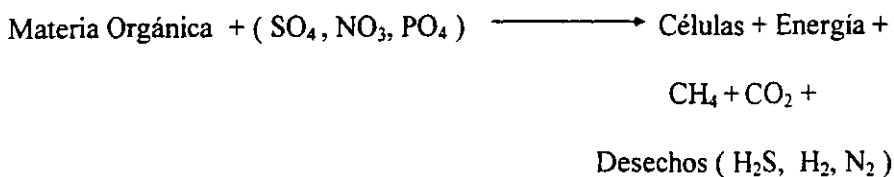
La remoción de fosfatos en los procesos biológicos está directamente relacionada con la remoción de material carbonaceo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), en éstas intervienen procesos anaerobios y aerobios.

En dichas reacciones se puede observar cómo la materia orgánica es convertida en tejido celular y gases de desecho metabólico.

Proceso aerobio.



Proceso anaerobio.



1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL. Determinar la eficiencia de remoción de nitrógeno y fosfatos de un Contactor Biológico Rotatorio (CBR) durante el tratamiento de aguas residuales del Interceptor Poniente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS. Para el cumplimiento del objetivo general se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- 1.- Caracterización del agua residual del Interceptor Poniente.
- 2.- Establecer las condiciones de Operación del Sistema.
- 3.- Evaluación de la eficiencia de remoción.
- 4.- Realizar una comparación entre la remoción obtenida durante la experimentación, de nitrógeno amoniacal y fosfatos y la reportada bibliográficamente.
- 5.- Analizar las características del agua tratada, para verificar si es posible su uso como agua de riego.
- 6.- Realizar un diseño de un Contactor Biológico Rotatorio utilizando como parámetro principal el proceso de eliminación de nitrógeno amoniacal.

2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realiza tomando muestras del Interceptor Poniente, en el punto ubicado en la Avenida Jesús Jiménez Gallardo, Zona Industrial Xhala, en el Municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México; este Interceptor cruza los municipios de Naucalpan, Tlanepantla y Cuautitlán en el Estado de México, pasando a través del Valle de Cuautitlán de sur a norte por medio de un canal a cielo abierto, en el cual son vertidas aguas residuales domésticas e industriales.

La zona de influencia para las aguas residuales del Interceptor Poniente abarca desde el área de Lechería hasta el Campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Cuautitlán, esta área de influencia está formada por un gran número de zonas habitacionales, las cuales pertenecen a los municipios cercanos entre los que se encuentran Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán y Tultitlán, así como los diferentes corredores industriales como Cuamatla, Xhala, Lechería y Cuautitlán.

Las zonas industriales descargan sus aguas residuales al sistema municipal, el cual desemboca directamente al Interceptor Poniente.

Las industrias que descargan sus aguas residuales al Interceptor Poniente son de las siguientes ramas:

- Productos Metálicos
- Sustancias y productos químicos
- Maquinaria
- Textiles
- Productos alimenticios
- Ensamble de transporte
- Metálica básica
- Calzado
- Productos minerales no metálicos
- Papel, celulosa y cartón
- Muebles

2.1. Ubicación de la zona de muestreo.

Como el objetivo de esta tesis es caracterizar las aguas residuales del Interceptor Poniente así como la medida del nitrógeno amoniacal y fosfatos, antes y después del tratamiento biológico, el muestreo en este caso se llevó a cabo en la cercanía de Campo 4 de la FES Cuautitlán sobre el puente Jesús Jiménez Gallardo, el cual cruza el Interceptor Poniente.

2.2. Muestreo.

El muestreo se realizó durante 17 semanas entre el 11 de octubre de 1997 y el 11 de marzo de 1998, manualmente mediante un recipiente y llenando tambos de 20 lts.

El método utilizado para el muestreo era el recoger agua aprovechando la localización del puente respecto al río, arrojando el recipiente al cause del Interceptor Poniente y recogéndolo mediante una cuerda para llenar de esta forma los tambos. Este método fue elegido debido a que es el único disponible para obtener una muestra representativa del agua.

El intervalo de tiempo del muestreo de aguas residuales era uno a la semana durante toda la etapa de experimentación de este trabajo.

Las muestras eran almacenadas en los tambos del laboratorio de tratamiento de aguas y para análisis posteriores en refrigeración a 4 grados centígrados.

3. DESCRIPCIÓN DEL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO

3.1. Antecedentes Históricos.

El uso de los Contactores Biológicos Rotatorios para el tratamiento de aguas residuales, ya sean domésticas o residuales, data de principios del siglo XX en Alemania, en un principio se construían de madera, el primer diseño no fue eficiente ya que existían problemas de taponamiento, más tarde a mediados de siglo XX, en Europa se empezaron a construir discos de plástico de 1.0 metros de diámetro aproximadamente.

En el este de Alemania se construyeron discos de poliestireno que tenían de 2 a 3 metros de diámetro, para utilizarlos en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Más tarde llegaron a América estos Contactores Biológicos Rotatorios, fueron conocidos como "Biodiscos", introducidos por la compañía Allis Chalmers, posteriormente se desarrolló en U.S.A. un nuevo medio de crecimiento, construido por medio de láminas corrugadas de polietileno que

aumentaron la densidad de área de superficie al doble que la anterior fabricada en Europa de poliestireno.

Este nuevo diseño fue la pauta a partir de la cual se comenzó a innovar sobre el diseño de estos Discos Contactores, el objetivo en la búsqueda de nuevos materiales era el poder realizar el tratamiento de aguas residuales para poblaciones relativamente grandes (10,000 habitantes), ya que este método resultaba mas económico que el sistema de tratamiento por lodos activados. Todos estos diseños llevaron a un diseño de polietileno duro, con un tratamiento especial para prevenir la temperización del polietileno por lo rayos Ultra Violeta.

El último diseño consta de hojas planas corrugadas alternadas y unidas térmicamente para formar una estructura rígida y continua, el diseño de estos Discos Rotatorios es de tal manera que, al unirlos térmicamente se forman unos canales radiales del centro del disco hacia la periferia del Biodisco, para asegurar que el aire, el agua residual y la biomasa puedan pasar libremente por el disco. Este diseño hace más eficiente el Contactor Biológico Rotatorio.

3.2. Funcionamiento del Contactor Biológico Rotatorio.

El proceso de tratamiento del Contactor Biológico Rotatorio el cual será mencionado en este trabajo con las siglas CBR consiste en unos discos rígidos

de plástico, los cuales están sobre una flecha y el 40% del área está inmersa dentro del agua residual, los discos se hacen rotar mediante una fuerza mecánica exterior (motor). Al hacer rotar los discos en el medio completo se desarrolla un cultivo de microorganismos microbianos. Los microorganismos se adhieren y multiplican para dar forma a un crecimiento uniforme conocido como un film, o biomasa compuesta (capa compuesta). La capa compuesta recoge una capa delgada de nutrientes mientras rota por el agua.

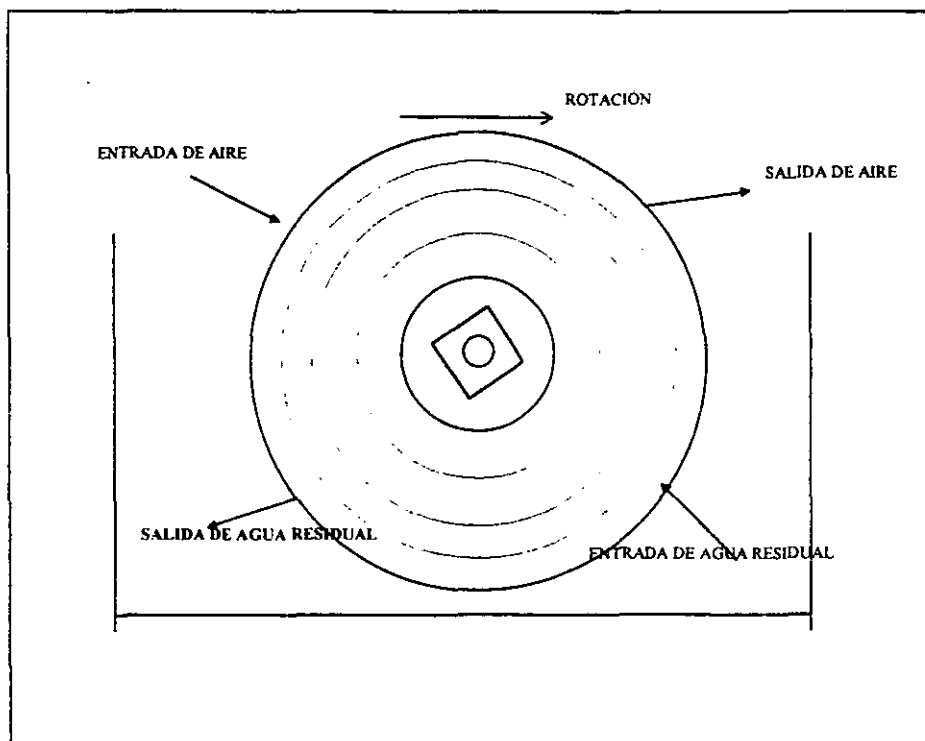


FIGURA 2. ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA RESIDUAL Y FLUJO EN MEDIO CORRUGADO.

La acción de rotar los Biodiscos además de recoger nutrientes, hace que el exceso del biofilm o biomasa se desprenda y quede en el seno del líquido mezclado, previniendo taponamientos y manteniendo la población de microorganismos constante, los sólidos separados son llevados posteriormente a un proceso de separación para su disposición final. Al operar el CBR de esta manera podemos encontrar lo siguiente:

- Provee área para el desarrollo de los microorganismos.
- Provee un contacto vigoroso de los crecimientos biológicos con las aguas residuales.
- Eficiencia para la adición de oxígeno al agua residual.
- Provee un medio adecuado de desprendimiento de la biomasa en exceso.
- Una agitación del licor mezclado para obtener los sólidos en suspensión a través de cada paso del tratamiento.

Los CBR operan generalmente en serie, con el número de unidades dependiendo de la carga orgánica y/o hidráulica a ser tratada.

La función de las primeras etapas es la de remover el material orgánico, las subsecuentes tienen la función de remover el nitrógeno amoniacal en los casos como este, en los cuales la nitrificación es usada para alcanzar una remoción considerable de nitrógeno amoniacal..

Existen diversos parámetros importantes para conocer el comportamiento de un CBR, a continuación se darán algunos de los más importantes, de los cuales dependen directamente el grado de tratamiento del

agua residual y por consiguiente la remoción aquí estudiada de nitrógeno amoniacal y fosfatos.

3.2.1. Efecto de la velocidad de rotación.

En estudios realizados y reportados en diversa bibliografía, la velocidad de rotación de los discos para el tratamiento del agua residual indica un parámetro importante, ya que la rotación está directamente relacionada con la remoción de la DBO, esto combinado con la carga hidráulica alimentada al CBR determina la DBO en el afluente.

Tenemos que la relación es casi proporcional entre la remoción del DBO y el tiempo de residencia en el reactor, a mayores cargas hidráulicas la remoción de DBO se ve considerablemente afectada, lo cual es importante, ya que la velocidad de rotación afecta de la siguiente manera:

- Incrementa la intensidad de contacto entre la biomasa y el agua residual.
- Incrementa la aireación y permite que exista un mejor mezclado en cada estado de tratamiento.

Hasta cierto punto, estos factores afectan el tratamiento ya que un aumento en la velocidad de rotación no afecta la capacidad de tratamiento.

Para la remoción de nitrógeno, la relación entre la velocidad de rotación y el tiempo de residencia es muy similar al comportamiento observado para la DBO.

Según la información bibliográfica, se reporta que la velocidad periférica sugerida para el diseño de los CBR es de (18 m/min. aproximadamente) 3.2 r.p.m. en el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico.

3.2.2. Efecto del número de etapas en un sistema CBR.

Para llegar a los datos reportados bibliográficamente, se ha comparado la eficiencia de tratamiento para dos y cuatro etapas para la DBO y los sólidos; esta demostrado que es más eficiente una planta de tratamiento de cuatro etapas, este beneficio se debe a la mejor distribución de tiempos de residencia en el reactor, demostrando que la DBO es una concentración dependiente de las etapas de operación.

Las etapas de operación son muy importantes para maximizar la efectividad de rotación del área superficial de los discos.

En este tipo de tratamiento, la DBO carbonosa o materia orgánica es removida en las primeras etapas de los discos, es decir se oxida, permitiendo así que las bacterias nitrificantes (nitrosomas y nitrobacter) predominen en las etapas subsecuentes obteniendo así una eficiente oxidación del amoniaco.

Esto nos lleva a concluir que para obtener una máxima eficiencia en la remoción de DBO y sólidos suspendidos obteniendo así la nitrificación, lo conveniente es tener una planta de cuatro etapas.

3.2.3. La remoción de la demanda de oxígeno.

La razón por la cual siempre se utiliza la carga hidráulica como criterio principal para el diseño de CBR, es que la remoción de DBO con respecto a este proceso es una reacción de primer orden, esto quiere decir que a una carga hidráulica dada, existirá un porcentaje de la remoción de DBO totalmente independiente de la concentración en el influente.

Lo anterior se puede comprobar al graficar el DBO remanente como función del tiempo de residencia de manera semilogarítmica; ésta al resultar una línea recta nos confirma que es una reacción de primer orden y la pendiente es una constante, que es la velocidad de reacción K .

En una gráfica de remoción contra tiempo, se puede observar que la remoción es de primer orden hasta una concentración de DBO remanente del 15%, después de este punto, la remoción es de primer orden pero con una constante de velocidad menor, la alteración en la velocidad de remoción se debe al cambio en la población microbológica que oxidan la materia carbonosa a los que oxidan la materia nitrogenada.

Este cambio parece ser una relación de la concentración de la DBO. Se reporta que la remoción de nitrógeno amoniacal es prácticamente constante

para valores de una DBO en el efluente de 40 mg/lt., siendo la oxidación amoniacal casi completa procede entonces rápidamente a una concentración del afluente de 5 a 10 mg/lt. aproximadamente.

Tomando en cuenta estos datos bibliográficos se concluye que el principal criterio para el diseño del CBR es la carga hidráulica.

3.2.4. Producción de lodos y características del licor mezclado.

La toma de muestras para estimar la producción de lodos es complicada, por lo que los datos que arrojan son difíciles de unificar en un criterio. La bibliografía indica que a medida que aumenta el grado de tratamiento del agua incrementa la producción de lodos, un dato nos dice que para un 86% de remoción de DBO en el afluente, aproximadamente 0.22 a 0.27 kg. de lodo se producen por cada 0.454 kg. de DBO removido.

En las aguas residuales, dentro del CBR cuando la temperatura es mayor a 10°C, la materia suspendida decrece en forma por abajo de las 100 mg/lt, los sólidos del licor mezclado son muy densos por lo que se sedimentan fácilmente y de manera contraria cuando la temperatura aumenta de los 10°C en adelante, ya que la materia suspendida aumenta a concentraciones que van de 130 a 250 mg/lt.

3.2.5. Tiempo de residencia.

Un parámetro que afecta el tratamiento de aguas residuales por medio de los CBR es el tiempo de residencia o retención dentro de los tanques, esto depende de lo siguiente:

Al tener una carga hidráulica establecida, el tiempo de residencia depende del espesamiento entre los discos y el tamaño del tanque en los cuales se encuentran los discos, de tal forma que al aumentar el esparcimiento entre los discos y el tamaño del tanque incrementará la cantidad de agua residual contenida en el tanque, por consiguiente aumenta el tiempo de retención conforme a la carga hidráulica establecida.

Esto nos lleva a pensar que al aumentar la relación volumen- superficie la eficiencia va a aumentar, sin embargo, datos reportados en la bibliografía señalan que sólo se cumple hasta una relación máxima de 4.90 l/m^2 ya que a relaciones mayores no es significativa la mejora.

Dicha relación ha sido probada para la remoción de sólidos suspendidos, la DBO y la oxidación de nitrógeno amoniacal, para todas estas pruebas la relación mencionada de 4.90 l/m^2 ha sido la óptima.

3.2.6. La temperatura del agua residual.

La temperatura del agua residual afecta todos los procesos biológicos de tratamiento de aguas, el proceso de CBR no es la excepción, a temperaturas mayores de 13°C el proceso no se ve afectado, la eficiencia decrece a temperaturas menores a esta. Se puede solucionar operando las plantas de tratamiento a cargas hidráulicas menores o aumentando las relaciones volumen-superficie.

3.2.7. Características de la remoción del nitrógeno.

El desarrollo de los organismos que oxidan el amoníaco en este proceso, está en función de la concentración de la DBO; para concentraciones altas de DBO, los microorganismos que oxidan la materia carbonosa, son relegados en el proceso a través de la dinámica poblacional. Como la materia carbonosa es removida por el tratamiento biológico a concentraciones de 30 mg/lts. aproximadamente, empiezan a aparecer en el proceso los microorganismos nitrificantes, iniciando la oxidación del amoníaco e incrementándose rápidamente mientras la concentración de DBO es reducida. A concentraciones de 8 a 10 mg/lts. de la DBO, la oxidación del amoníaco es virtualmente completa (menos de 1.0 mg/l.), la relación de la nitrificación con la concentración de la DBO, la temperatura, la velocidad de rotación y el número de estados. El mecanismo de remoción del nitrógeno orgánico es primeramente pro síntesis celular, sin embargo, la floculación y la sedimentación, así como algunas hidrólisis a nitrógeno amoniacal es probable que puedan ocurrir.

3.3. Parámetros de diseño de los Contactores Biológicos Rotatorios.

Existen a la fecha diversos métodos para el diseño de los CBR, generalmente todos los criterios de diseño son extraídos de plantas pilotos o plantas de tratamiento de aguas, en esta parte del trabajo se van a revisar diversos criterios para el diseño de los CBR, así como algunos modelos cinéticos para el cálculo de estos.

3.3.1. Carga hidráulica.

Como ya se había visto anteriormente, la remoción de DBO se ha demostrado es de primer orden así como la oxidación del nitrógeno amoniacal, de aquí nace el primer criterio de diseño de la carga hidráulica. Dicho criterio se basa en que a una carga hidráulica dada, una remoción de DBO se dará, no importando qué concentración de DBO inicial exista siempre ocurrirá una remoción porcentual específica. Es así que el criterio de diseño en este caso es la carga hidráulica diferente a la carga orgánica, la cual es usada por el diseño de reactores de lodos activados o rociadores.

La carga hidráulica es expresada como flujo por unidad de tiempo por unidad de área cubierta de crecimiento biológico $m^3/dia-m^2$. El tiempo de residencia es la mejor vía para determinar la carga hidráulica. La carga hidráulica sobre la biomasa que cubre la superficie del disco es usada para determinar las necesidades del equipo.

3.3.2. Etapas y arreglos.

La eficiencia del tratamiento aumenta cuando excede un arreglo medio en una serie de etapas, lo cual ocurre por las siguientes dos razones:

- El desarrollo del cultivo específico de bacterias en las etapas sucesivas del medio, que se han adaptado a las características del agua residual en cada etapa.
- El proceso se desarrolla con cinética de primer orden, por la distribución del tiempo de residencia, obteniendo con las etapas el incremento de la tasa de remoción del DBO.

Cuando un CBR se opera en flujo pistón en la primera etapa, se obtiene una remoción alta de DBO pero conforme van avanzando las etapas, los microorganismos van removiendo tasas inferiores de DBO, obteniendo un menor rendimiento de el área superficial de contacto, la que sería mucho más eficiente al remover la DBO si se operara como un flujo de mezcla completa. Por esta razón se recomienda que para operar con una mayor eficiencia es necesario tener plantas de tratamiento de cuatro etapas, de esta manera se aprovecha mejor el área superficial de cada uno de los discos, los arreglos sugeridos son en serie o paralelo, según como exista la disponibilidad de las flechas ya que no se ha demostrado que exista gran afectación por el flujo del agua perpendicular o paralelo a las flechas.

3.3.3. Otros parámetros de diseño.

La velocidad de rotación es un parámetro de diseño el cual es importante ya que se relaciona directamente con el gasto de energía para el tratamiento del agua residual, por lo que es relevante fijar una velocidad periférica aceptable para poder obtener una cantidad de oxígeno disuelto adecuado, mayor de 3 mg/lit y tener una velocidad no elevada ya que existe un intervalo de velocidad en el cual ya no afecta la velocidad de rotación con la calidad del agua de afluente por lo que una velocidad sugerida es de 0.30 m/s.

3.3.4. Parámetros de diseño alternativos.

A pesar que los parámetros anteriores se basan principalmente en reacciones de primer orden, ahora se va a dar un método de diseño alternativo el cual utiliza cinéticas de segundo orden para el diseño de los CBR.

Este método utiliza cinética de segundo orden para el diseño de CBR, esto es relacionar la desaparición de la DBO en función del tiempo. Alternativa que nos puede dar una aproximación para poder calcular lo siguiente:

1. El número de flechas.
2. El número de etapas.
3. Las flechas en cada etapa.
4. La DBO en cada etapa.

5. El efecto de la variación del flujo de un 50 a un 200 % del flujo de diseño.
6. Cuando la transferencia de oxígeno gobierna sobre la cinética.

Como se había mencionado anteriormente, el diseño de un CBR se basaba principalmente en datos empíricos obtenidos de experimentaciones realizadas por los fabricantes de CBR. En este método se dará una breve explicación mediante la cual se obtiene el diseño cinético de un CBR.

Paso 1. Determinar el número de flechas en la primera etapa.

En este paso se trata de calcular el número de flechas suficientes para poder evitar una sobrecarga orgánica en nuestro CBR, tomando en cuenta una limitación que no exceda de una carga de 1.135 kg de DBO/93m², aplicando esta limitación podemos calcular el número de flechas en la primera etapa del CBR, de esta manera se calcula cuánta DBO por unidad de área puede manejar cada flecha y así calcular el número total de flechas.

Paso 2. Determinar la concentración de DBO en la primera etapa.

Se determina mediante la ecuación de Levenspiel utilizada para reacciones de segundo orden.

$$C_1 = - \frac{1 + \sqrt{1 + 4 kt C_{inf}}}{2 kt} \quad \text{donde:}$$

C_1 = Concentración de la DBO en la primera etapa.

k = Constante de reacción de segundo orden $0.083 \text{ L/mg h}^{-1}$

t = Tiempo de residencia en la primer etapa.

C_{inf} = Concentración del influente.

Es importante calcular la adecuada transferencia de oxígeno en la primera etapa debido a que esta puede predominar, debe ser menor a $40 \text{ mg/O}_2 \text{ h}$ ya que si es mayor la concentración de DBO estará determinada por el rango de transferencia de oxígeno.

Paso 3. Determinar el número de flechas en la segunda etapa.

Esta se calculará en la forma descrita en el paso 1.

Paso 4. Determinar la concentración de DBO en la segunda etapa.

Se realiza de la misma manera que en el paso 2.

Paso 5. Determinar el número de flechas de la tercera etapa.

Esta se calcula tomando en cuenta el tiempo de residencia de la etapa anterior y aplicando el procedimiento antes descrito.

Paso 6. Determinar la concentración en la tercera etapa.

Se utiliza el mismo procedimiento que en la etapa antecesora.

¹ Constante tomada de Opatken E.J., *Reactions Kinetic In: Proceedings of second World Congress of Chemical Engineering, Montreal Canada, Octubre 1981.*

Sucesivamente se realizan los mismos cálculos para cada etapa hasta llegar a la cuarta y última, es importante recalcar que antes de operar el equipo se conoce la concentración de la DBO de salida.

Para poder saber las variaciones sobre el flujo de entrada se sigue el mismo procedimiento, únicamente que se fijan las variaciones, ya sea en porcentaje del flujo de diseño o directamente, es necesario aplicar los pasos anteriormente descritos utilizando los nuevos datos, de esta manera habrá una caracterización del agua de afluente aún teniendo variaciones. Pudiendo entonces, construir una familia de curvas de operación de DBO contra carga hidráulica.

Este método da una visión amplia al diseñador de un CBR ya que de esta manera se puede ver desde un principio el comportamiento y pensar en las posibles soluciones a los problemas que se puedan presentar durante la operación fuera de los límites determinados.

Existen otros métodos para el diseño preliminar de un CBR, basados en la condición que el Contactor sea utilizado para obtener la nitrificación, estos métodos de diseño están basados principalmente en un modelo cinético de orden cero, proceso similar al anterior, consta de ocho pasos los cuales se especificarán a continuación.

Paso 1. Definir o asumir las condiciones de operación.

Este paso consta en definir las condiciones de operación como son la cantidad de flujo de entrada, la temperatura mínima del agua residual, la

temperatura máxima del agua residual, el promedio de concentración de nitrógeno, la constante de reacción para la oxidación de nitrógeno, a temperatura máxima y mínima.

Paso 2. Establecer la calidad requerida del efluente.

En este caso se establece la remoción que es deseada para la cantidad de nitrógeno amoniacal al final del proceso de tratamiento.

Paso 3. Condiciones generales de diseño para un CBR.

En este paso se tienen que definir las condiciones con las cuales se va a trabajar, ya que los CBR se encuentran disponibles únicamente en dos tamaños. Un tamaño estándar 7.6m. de longitud en cada flecha, las cuales contienen 9100 m² de superficie media. Las flechas deben coincidir con la densidad alta, las cuales tienen la misma longitud pero una superficie media de 14,000 m², generalmente las flechas estándar son colocadas en las primeras dos etapas en las cuales existen cargas orgánicas grandes y las de alta densidad en etapas posteriores en las cuales se lleva a cabo la nitrificación.

Paso 4. Calcular el tiempo de residencia para una flecha de alta densidad.

En este paso se calcula el tiempo de residencia tomando en cuenta los siguientes parámetros: tomar la relación de volumen - área, el cual es de 5.0 l/m² y el área por cada flecha.

Paso 5. Determinar el número total de CBR.

En este caso el principio es calcular el número de flechas necesarias para obtener la concentración adecuada de nitrógeno amoniacal final, esto

considerando que la concentración de DBO, de transferencia de masa del oxígeno no limita las condiciones de remoción de nitrógeno amoniacal.

Aplicando la ecuación de cinética para una reacción de orden cero, de conversión de nitrógeno amoniacal a nitrato está expresada como a continuación se detalla:

$$dC = k_n dt \quad \text{donde:}$$

$$dC = \Delta C = C_1 - C_e$$

C_1 = Concentración de nitrógeno amoniacal en el influente.

C_e = Concentración final de nitrógeno.

k_n = Constante de reacción de orden cero a la temperatura menor.

Paso 6. Determinar el arreglo de las flechas para el CBR.

En este caso se necesita definir el tipo de arreglo que se va a realizar para el CBR, el cual debe consistir en el número de etapas adecuadas para dar un tiempo de residencia hidráulica suficiente, resultando una mezcla completa, esto se logrará obteniendo el flujo de entrada y proponiendo el número de unidades de contacto.

Paso 7. Determinar la concentración de nitrógeno amoniacal para cada etapa.

Se realiza mediante la ecuación cinética de segundo orden mencionada en el paso 5, se calcula la concentración de nitrógeno amoniacal en cada etapa hasta determinar la concentración en el efluente.

Paso 8. Determinar el número de etapas requeridas a la temperatura promedio mayor.

En este paso se calcula el número de etapas requeridas a la temperatura promedio mayor, de esta manera al igual que en el paso 5 se calcula el número de etapas, siendo así evaluada a cada temperatura.

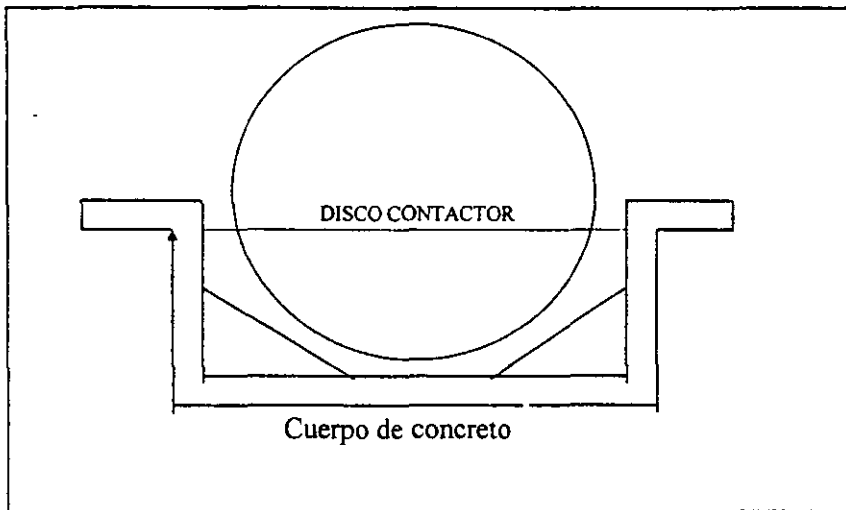


FIGURA 3. CORTE TRANSVERSAL DE UN CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO.

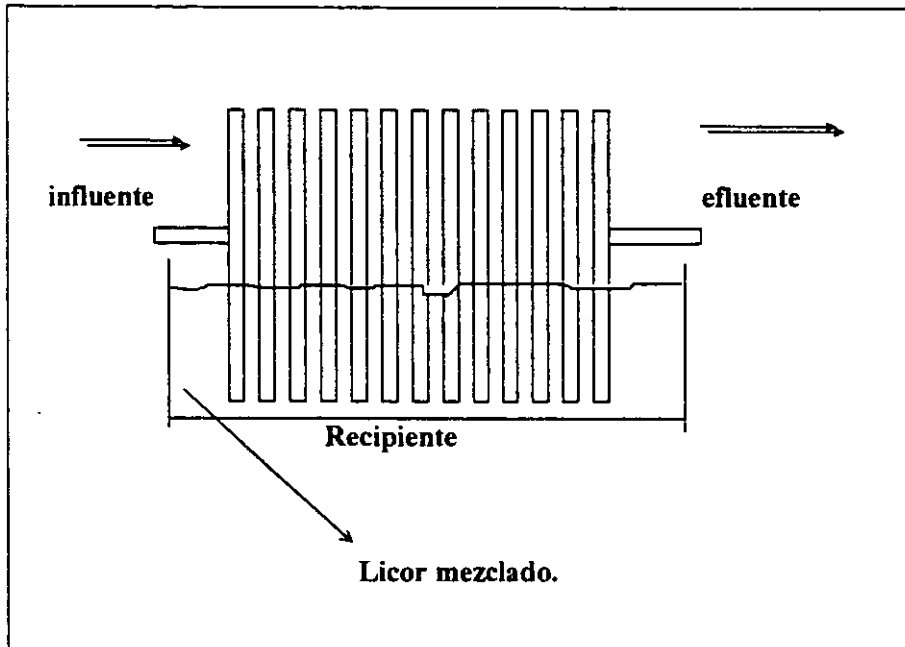


FIGURA 4. FIGURA DE UNA ETAPA DE UN CBR.

4. CRITERIOS PARA LA CALIDAD DEL AGUA

Desde tiempo atrás se han propuesto diversos criterios para la calidad del agua residual, la cual puede ser utilizada para diversos fines, el interés en este trabajo es el de utilizar las aguas residuales como agua de riego, anteriormente era regulado por la Secretaria de Recursos Hidráulicos, actualmente la vigilancia y procura de todos los efluentes municipales, o industriales está regulado por la SEMARNAP, encargada de dar los parámetros necesarios para asegurar la calidad del agua mediante los llamados NOMECOL, estas son Normas Oficiales Mexicanas las cuales apoyadas en diversa bibliografía de procedencia extranjera y nacional; fijan los estatutos a seguir con relación a la cantidad de compuestos permisibles en el agua residual, así como las pruebas necesarias de laboratorio que se deben efectuar para asegurar la calidad de las aguas.

En este trabajo se monitorearon diversos parámetros del agua residual como son:

DBO

DQO

Sólidos totales

Oxígeno disuelto

Nitrógeno

Fosfatos

Alcalinidad

De lo anterior se deriva para cada propiedad lo siguiente:

Nitrógeno.

El nitrógeno es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de protistas o plantas, además de ser absolutamente básico para la síntesis de las proteínas.

Es necesario oxidar la cantidad de nitrógeno amoniacal para obtener la nitrificación anteriormente explicada para proveer la cantidad de nitrógeno en forma de nitratos suficiente para poder utilizar el agua como agua de riego.

En los documentos consultados en este trabajo hasta el momento no se encontró un requerimiento establecido para las aguas tratadas para utilizarse en aguas de riego.

Fósforo.

Al igual que el nitrógeno el fósforo es un nutriente esencial para las plantas, los fosfatos presentes en el agua provienen de diversas fuentes, los fosfatos los podemos encontrar de en las siguientes formas: ortofosfatos, polifosfatos, metafosfatos, y fosfatos orgánicos, los cuales provienen de diferentes fuentes ya sea detergentes, ablandadores de agua, entre otros, lo conveniente para poder utilizar el agua residual como agua de riego es monitorear la cantidad de fosfatos para evitar la contaminación de los suelos por hiperfertilización.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

El contenido orgánico en el agua es un factor muy importante para la determinación del grado de contaminación, el diverso contenido de materia orgánica así como lo complejo que resulta cuantificarlo nos lleva a determinar indirectamente la concentración de estos contaminantes, una de las más importantes es la DBO demanda bioquímica de oxígeno, la cual es un parámetro que nos indica la contaminación, la manera más utilizada es la DBO₅ que prueba la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable y diferencia entre la materia no biodegradable y la biodegradable. Este método está estandarizado y es muy aceptable, como arroja resultados reproducibles esto es, realizando diluciones y realizando un cultivo a 20°C por 5 días.

Demanda química de oxígeno (DQO).

Este parámetro se determinó para poder realizar una diferenciación entre la materia orgánica biodegradable y no biodegradable, es decir, da la equivalencia entre el oxígeno, la materia orgánica se obtiene utilizando oxidantes fuertes, en este caso (dicromato de potasio), temperatura elevada y un catalizador que es sulfato de plata.

Oxígeno disuelto (OD).

Como su nombre lo indica es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua expresada como mg/l. Su valor arriba de 2 mg/l proporciona la certeza de que se desarrollen microorganismos aerobios.

Sólidos totales.

Los sólidos de las aguas residuales se pueden dividir en dos grandes grupos, sólidos orgánicos e inorgánicos, en el agua residual el 75% de los sólidos son sólidos suspendidos y el 40% son materia orgánica.

A continuación se presenta una tabla en la cual se dan algunas normas de calidad para el agua de uso agrícola, esta tabla es extraída del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación.

Propiedad	Parámetros
PH	6.5 a 8.5
Temperatura	No aumentar la temperatura del cuerpo receptor en más de 2.5°
Oxígeno disuelto	Como promedio de 16 horas consecutivas, 60% del valor de saturación a 20°, no debe ser menor de 3.5 mg/l
Aceites y grasas	Ausencia de película visible
Arsénico	5.0 mg/l máximo
Plaguicidas totales	0.05 mg/l máximo
Color	No aumentar el color del cuerpo receptor en más de 10 unidades, escala platino-cobalto

TABLA 1. CONDICIONES PARA AGUA DE RIEGO

5. DISEÑO EXPERIMENTAL

5.1. Operación del Contactador Biológico Rotatorio.

Dentro del estudio se operó el CBR para poder estudiar el comportamiento de éste al tratar aguas del Interceptor Poniente, el CBR usado en esta experimentación es el que se encuentra en el laboratorio de tratamiento de aguas (laboratorio L-302 de la FES Cuautitlán Campo 1).

Características del Contactador:

Propiedades	
Material del disco	Acrílico
Número de cámaras	8
Número de discos por cámara	5
Número total de discos	40
Espesor de discos m.	0.004
Área superficial m ²	5.805
Volumen de la cámara m ³	0.005
Volumen total de trabajo m ³	0.04
Rel. Vol. De trabajo/área sup m ² / m ³	0.0068
% Área sumergida	40
Diámetro de discos m.	0.30

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL CBR PARA LA EXPERIMENTACION.

Como se ve en la TABLA 5, este CBR contiene 8 cámaras divididas en dos unidades de tratamiento colocadas en paralelo, cada cámara está separada por mampara de lámina galvanizada las cuales se comunican entre sí por ranuras colocadas en la parte superior de éstas, y una vez que se encuentra la cámara a su máxima capacidad pase el agua a la siguiente y así sucesivamente las dos unidades de tratamiento están unidas entre sí mediante dos tramos de manguera flexible unidas a 2 boquillas, las cuales permiten el paso de la primera unidad de tratamiento a la segunda y por último se recibe el agua en un recipiente final que hace la función de un sedimentador. El sistema completo tiene una inclinación desde la alimentación del agua residual hasta la descarga de agua ya tratada con un ángulo aproximado de 10°.

Las cámaras del CBR tienen una capacidad de 5 litros aproximadamente, y cada cámara contiene 5 discos, los cuales están soportados en una flecha de acero inoxidable que tiene la función de transmitir la potencia necesaria para que los discos giren y también para poder fijar estos discos mediante tuercas y tornillos.

La transmisión de potencia esta a cargo de un motor marca General Electric de ¼ de HP de potencia de 110 volts, el cual gira a una velocidad de 1750 r.p.m., acoplado a un reductor de velocidad consistente en un tornillo sin fin y unos juegos de engranes lubricados por aceite.

Este sistema tiene un funcionamiento continuo por lo que el mantenimiento debe de ser eficiente tanto a chumaceras, bandas y poleas para poder obtener un rendimiento óptimo del sistema de tratamiento.

Es importante mencionar que todo el CBR está cubierto con una capa de un material anticorrosivo plástico, el cual evita el deterioro ya que las características del agua residual aceleran las condiciones para la corrosión.

5.2. Condiciones de operación para la parte experimental.

En esta parte se definieron las siguientes condiciones de operación según la caracterización del agua de salida, para estos fines las condiciones de operación fueron las siguientes:

Variable	Condición
Flujo de alimentación durante la etapa de aclimatación ²	2.2 días de tiempo de residencia
Etapa de operación normal	1.1 días de tiempo de residencia

TABLA 3. CONDICIONES INICIALES DE OPERACION

5.3. Arranque del sistema de tratamiento CBR con agua del Interceptor Poniente.

Este sistema de tratamiento requiere de un periodo de acondicionamiento debido a que es necesario que se desarrolle la biocapa o biomasa sobre los discos de acrílico, como anteriormente se había estudiado, por lo que se procedió a alimentar agua residual mediante una bomba

² VER ANEXO 1.

peristáltica Masterflex 7016-20 con un reostato para poder controlar la velocidad de rotación y por consecuencia el flujo de entrada, éste fue medido con una probeta siendo este verificado y ajustado periódicamente.

Se alimenta agua durante 4 semanas monitoreando el desarrollo de la capa biológica, lo cual se realizó visualmente ya que esta capa aparece de un color verde oscuro sobre los discos.

Posteriormente al ser la película evidente se procedió a caracterizar las aguas del Interceptor Poniente midiendo diferentes parámetros acompañados de los de mayor importancia, en este estudio nitrógeno amoniacal y fosfatos.

Los métodos utilizados para el análisis del agua son descritos a continuación en la Tabla.

DETERMINACIÓN	MÉTODO UTILIZADO
Demanda Química de Oxígeno	Método espectrofotométrico
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Método de dilución
Alcalinidad	Volumétrico
Oxígeno disuelto	Azida Modificado
Fosfatos	Método espectrofotométrico
Nitrógeno	Método Volumétrico
Dureza	Método Volumétrico
Sólidos	Método gravimétrico

TABLA 4. METODOS DE ANALISIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS.

5.4. Condiciones de operación.

La primera condición de operación para los Biodiscos fue la velocidad de rotación de 26 r.p.m., velocidad proporcionada por el conjunto motor-reductor-poleas, ésta fue satisfactoria ya que en pruebas preliminares se observó que el oxígeno disuelto en el efluente siempre fue mayor a 3 mg/l.

El tiempo de residencia con el que se experimentó fue de 1.1 días para observar el comportamiento de los efluentes.

El muestreo se realizó durante 17 semanas entre el 11 de octubre de 1997 y el 11 de marzo de 1998, manualmente mediante un recipiente y llenando tambos de 20 lts.

La toma de muestras para la experimentación en este trabajo se realizó directamente del tanque de sedimentación para el agua de efluente, y para el influente se tomó directamente el agua del tanque de alimentación al sistema, realizando las pruebas de inmediato al tomar las muestras.

6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

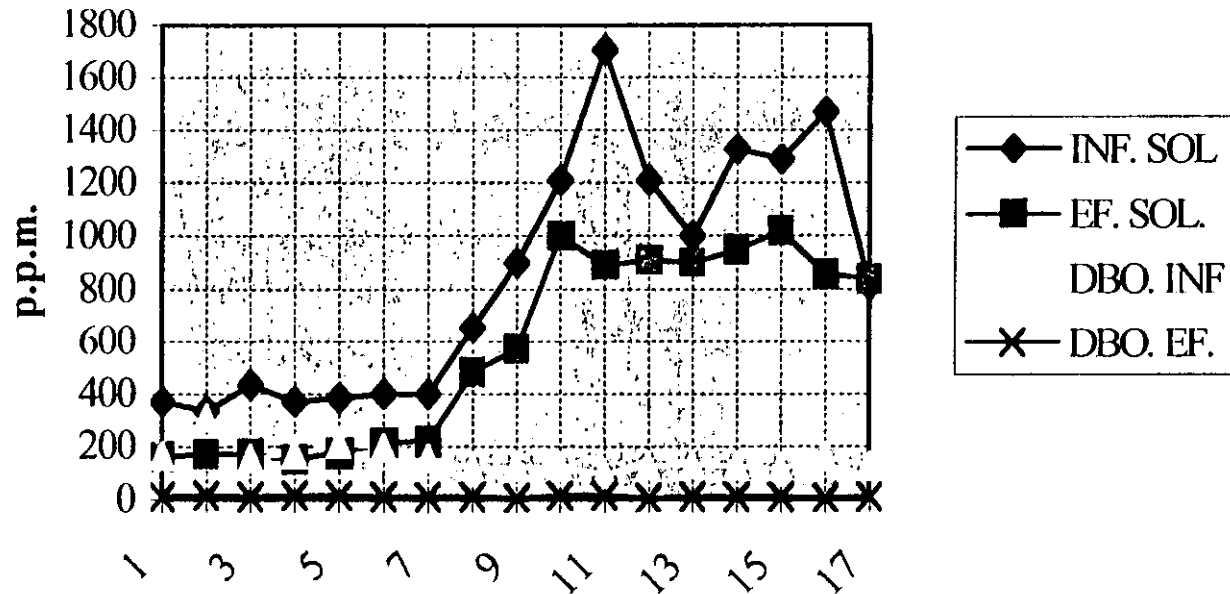
A continuación se presentan los resultados promedio de la experimentación durante un periodo de 17 semanas.

PRUEBA	INFLUENTE mg/L	EFLUENTE mg/L
Oxígeno disuelto	0	4.5
Sólidos Totales	839	598
D.Q.O	348	29
D.B.O.	154	11
Nitrógeno Amoniacal	38	7.5
Fosfatos	28	20
Dureza		
Alcalinidad	409	178 *

TABLA 5. RESULTADOS PROMEDIO EXPERIMENTALES.

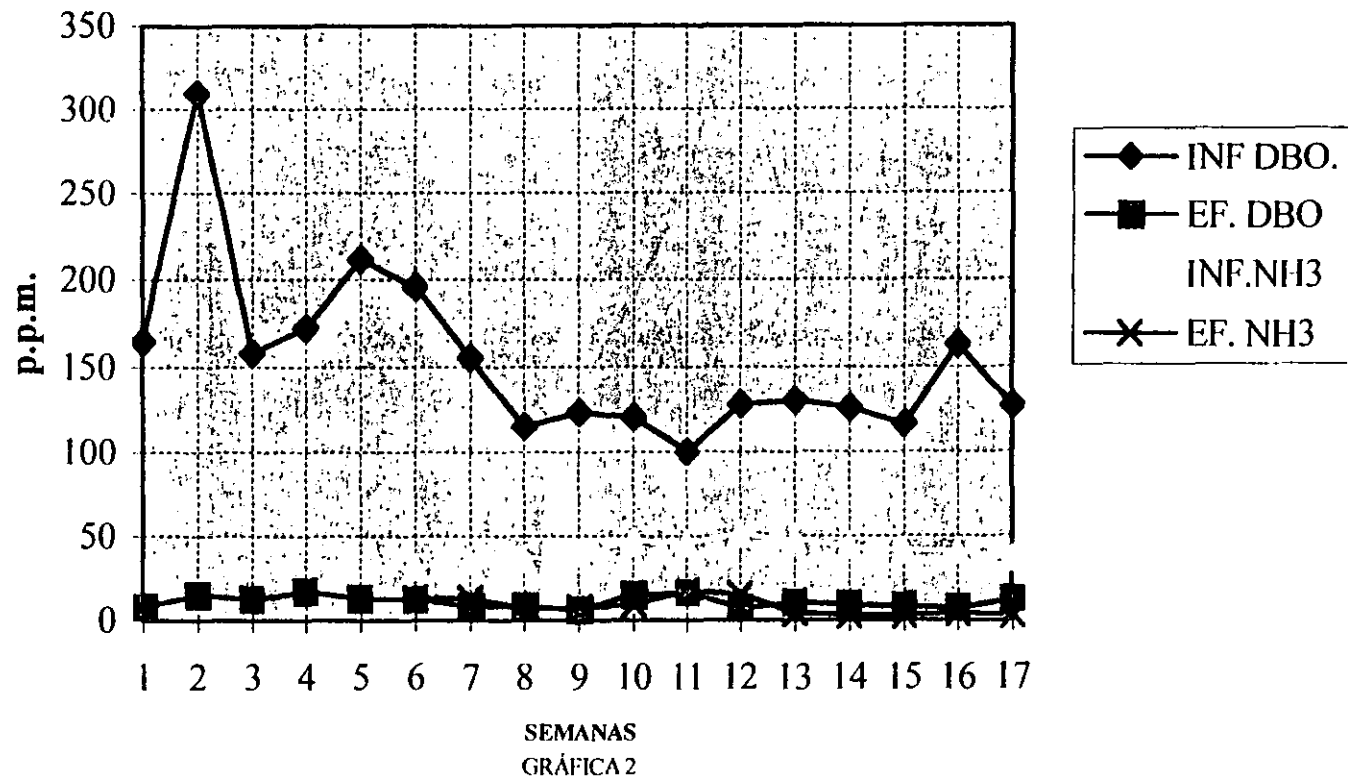
Estos datos han sido tratados para obtener el promedio tanto en el influente como en el efluente, es importante mencionar que las muestras fueron tomadas durante dos periodos del año que pertenecen a la época en la cual se registran las menores temperaturas y lluvia, así como en el inicio de la época de estiaje y calor.

RELACION ENTRE SOLIDOS Y DBO

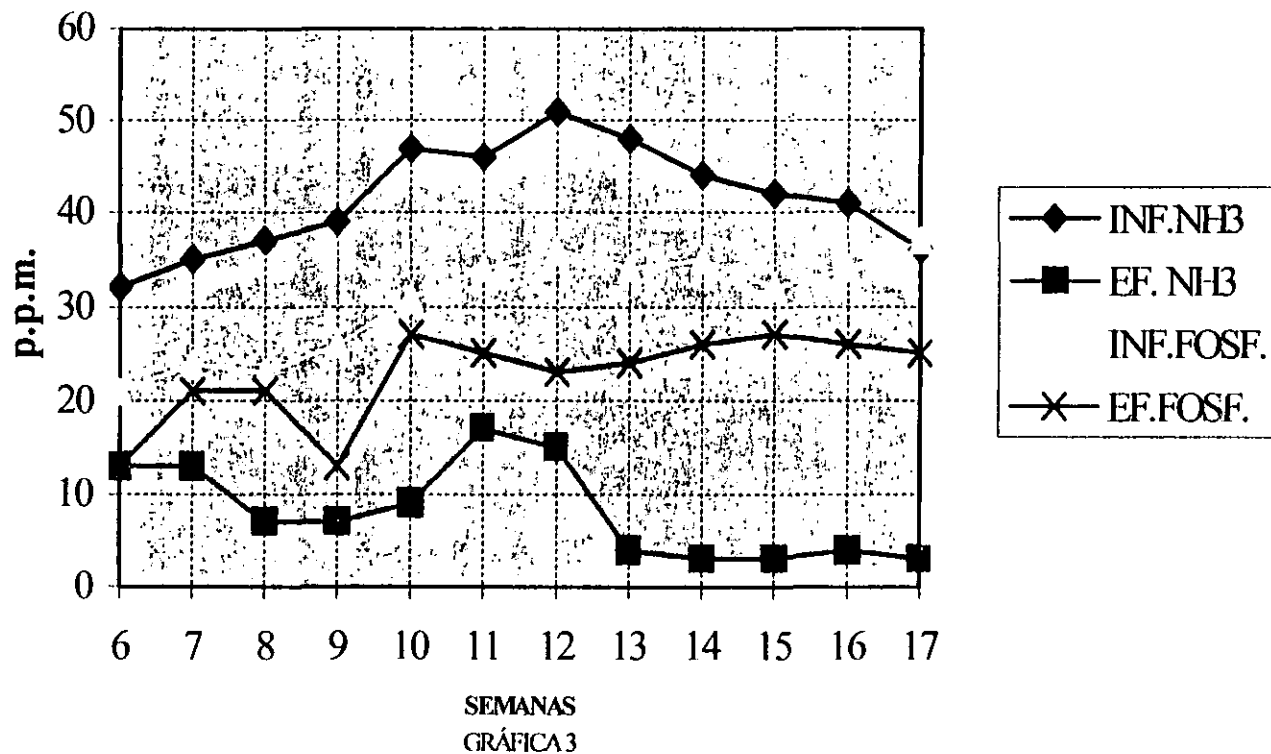


SEMANAS
GRÁFICA 1

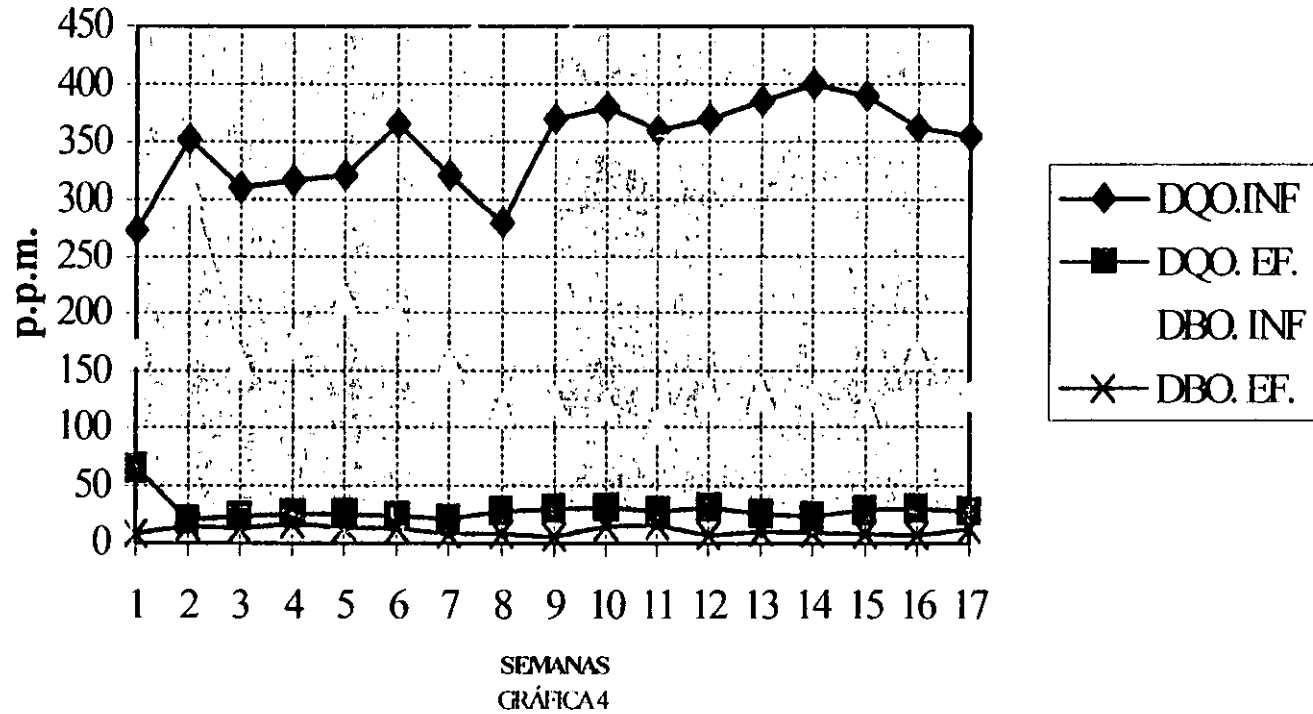
RELACION ENTRE DBO Y NITROGENO AMONICAL



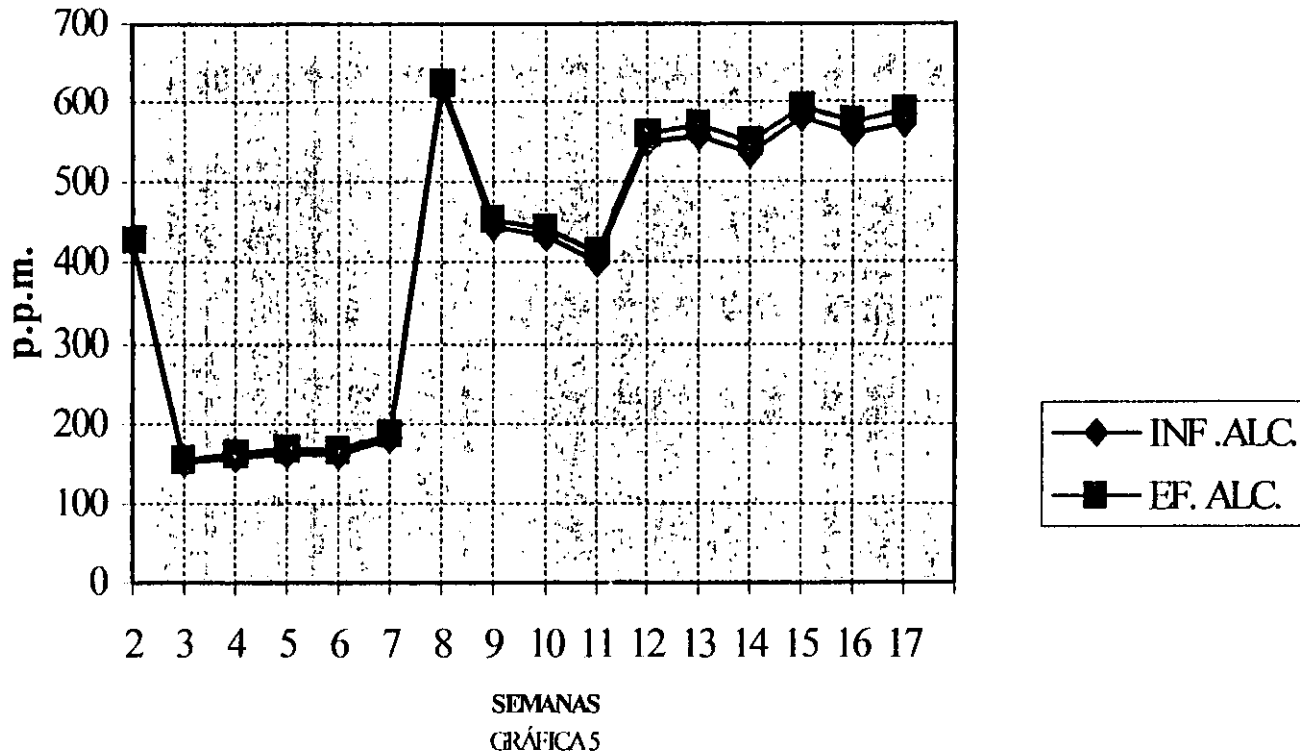
REMOCION DE NITROGENO Y FOSFATOS



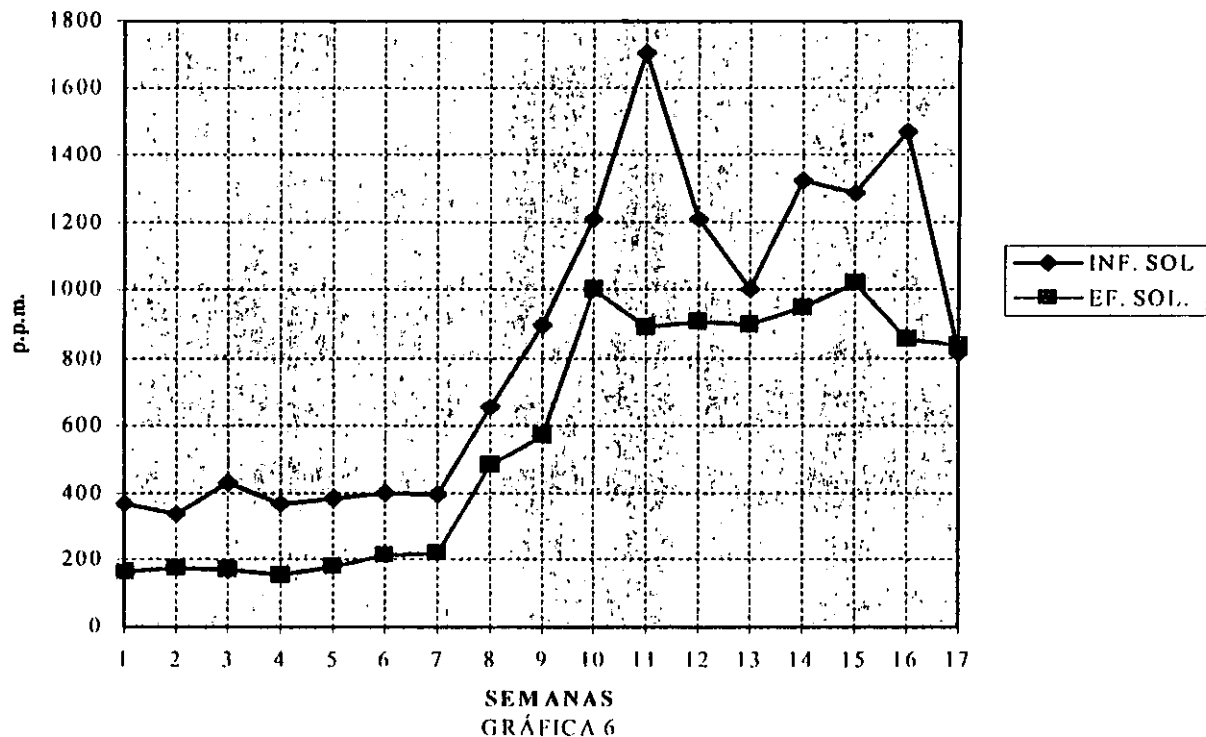
REMOCION DE DQO Y DBO



GRAFICA COMPORTAMIENTO DE ALCALINIDAD



COMPORTAMIENTO DE SOLIDOS TOTALES



7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como podemos observar en las gráficas anteriores, la remoción de nitrógeno amoniacal está directamente relacionado con la remoción de DBO, aunque las concentraciones de entrada no son muy similares las concentraciones del efluente si lo son y mantienen un comportamiento similar, con esto confirmamos lo citado anteriormente y en la literatura; al disminuir la cantidad de DBO es un indicador de que el material carbonaceo tiene una demanda de oxígeno pobre y que se encuentra presente una población significativa de las bacterias nitrificantes, el proceso de desarrollo de los organismos que oxidan el amoniaco en el proceso está en función de la concentración de DBO, para concentraciones altas de DBO que en este caso tiene un promedio de 154 mg/l los organismos están relegados por la dinámica poblacional del sistema, y al ser removida la materia orgánica la nitrificación comienza a suceder, esto explica la relación que se observa en cuanto a la remoción del nitrógeno en función de la cantidad de DBO presente en el efluente, por esta razón se presentaron los resultados experimentales gratificados de la concentración de influente y efluente de DBO y nitrógeno amoniacal juntos, para de esta forma observar la relación existente.

Se presentan los datos de oxígeno disuelto en el efluente, el cual durante toda la experimentación no presentó valores menores a 4 mg/l., esto nos indica que la velocidad y tiempo de residencia hidráulica en este caso fueron los apropiados, la cantidad de oxígeno es una cantidad suficiente incluso para poder

descargarla en lugares en los cuales exista vida acuática, ya que la concentración es mayor a la mínima necesaria para que se desarrollen y vivan organismos.

La cantidad de sólidos totales, en este caso, se observa relativamente elevada, pero no hay que olvidar que el CBR es un sistema de tratamiento secundario el cual puede ser precedido de un sistema de filtración de arena o similar.

Es importante recalcar que esta experimentación se llevó a cabo durante dos épocas del año totalmente distintas en las cuales se observaron lluvias, las menores temperaturas, así como las más altas y una temporada de estiaje, estos datos pueden dar una caracterización buena para las aguas del Interceptor Poniente, al ver el comportamiento de la alcalinidad y la cantidad de sólidos tanto en el influente y el efluente se puede observar el incremento gradual a partir de las últimas semanas de enero hasta la tercera semana de marzo.

A pesar del incremento en la contaminación de las aguas pudimos observar cómo para la cantidad de oxígeno disuelto, la remoción de DBO y la DQO no se vio considerablemente afectada, esto quiere decir que a pesar del incremento de la concentración de sólidos en el influente no se vio afectada la remoción de DQO y DBO durante la duración de esta experimentación nos permite ver la flexibilidad de operación que presenta el sistema de CBR para tratar aguas con las características de las del Interceptor Poniente.

Es importante ver que para la DQO, DBO y para el nitrógeno amoniacal la remoción se encuentra perfectamente dentro del rango reportado en la

bibliografía, esto habla de la operación correcta del equipo durante la experimentación así como su utilidad para poder realizar escalamientos para plantas de tratamiento y caracterizaciones de aguas residuales de cualquier origen.

La remoción de fosfatos en esta caso fue muy pobre acercándose a un 28% de remoción del total de fosfatos encontrados en el agua residual, como ya se había mencionado anteriormente la remoción de fosfatos está relacionada con reacciones celulares en la bibliografía consultada, no se encuentra todavía ninguna relación con algún otro parámetro o modelo matemático ya sea cinético o de transferencia de masa.

Si observamos los datos experimentales presentados en la TABLA 5., podemos ver que para los resultados obtenidos el promedio de remoción con respecto a la entrada es el siguiente³:

PARÁMETRO	% DE REMOCIÓN EXPERIMENTAL	% DE REMOCIÓN BIBLIOGRÁFICA
Sólidos	28	
DQO	92	70-85
DBO	93	70-97
Nitrógeno Amoniacal	80	30-80
Fosfatos	28	8-30
Alcalinidad	56.5	

TABLA 6

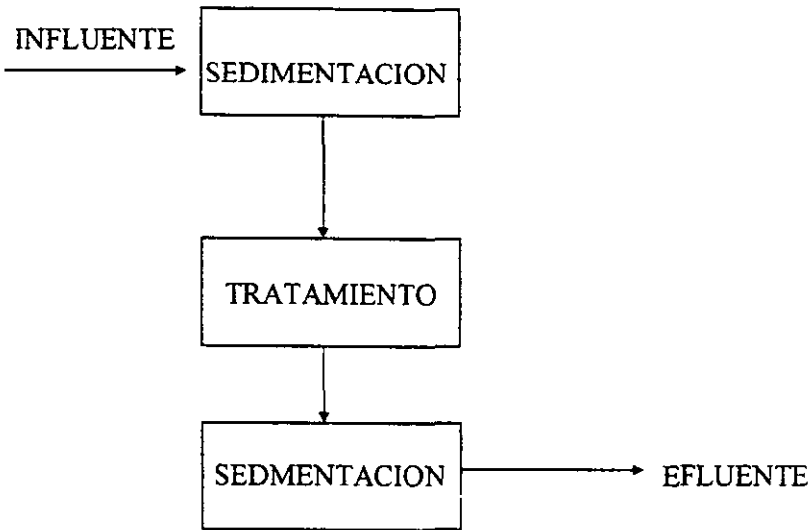
³ VER ANEXO 4.

8. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS

En este apartado se llevará acabo el diseño de un CBR, tomando como principal parámetro la cantidad de nitrógeno amoniacal, aprovechando la caracterización del agua del Interceptor Poniente se harán los cálculos necesarios para llegar a un arreglo final de un CBR, para ser utilizado como fuente principal de abasto de agua para fines de riego agrícola.

De esta manera se utilizará un modelo cinético de orden cero para la nitrificación, siendo este modelo exclusivo para CBR, tomando en cuenta la temperatura promedio anual y el flujo de entrada a la planta de tratamiento.

8.1. Diagrama de bloques de la planta de tratamiento.



8.2. Parámetros de diseño requeridos.

Los parámetros de diseño son los siguientes para un flujo de operación:

Un flujo de $Q = 222.22$ lt/seg.

Temperatura promedio anual = 21° C.

Promedio de nitrógeno amoniacal del influente = 38 mg/l.

Promedio de nitrógeno del agua de efluente = 7.5 mg/l.

Datos de diseño estándares utilizados para el cálculo:

Flechas Estándares de Contactores = 7.6 de longitud y 100,000 ft²
(9100 m²) de superficie media.

Relación de Volumen - Área superficial 0.12 gal/ ft² (5.0 L/ m²)

La planta de tratamiento es propuesta para trabajar 365 días al año (periodo general de trabajo de una industria) con el flujo de 199,500 gal/día más un sobre diseño del 1.05.

8.3. Equipo utilizado para el tratamiento de aguas.

Sedimentador Primario.

Contactador Rotatorio Biológico.

Sedimentador Secundario.

Sedimentador primario.

El sedimentador es un tanque, el cual puede ser construido de concreto y tiene la finalidad de dar el tiempo de residencia necesario para poder eliminar las partículas que por su tamaño sedimentan y pueden ser removidas únicamente por acción de la gravedad, este sedimentador sirve para partículas conocidas con el nombre de partículas finas las cuales tienen un tamaño de 10^{-2} hasta partículas gruesas que van desde 0.1 hasta 1 mm de tamaño.

Contactor Biológico Rotatorio.

Para poder dimensionar el Contactor Biológico Rotatorio el primer paso es el cálculo del tiempo de residencia hidráulica.

Utilizando una flecha estándar definida anteriormente, la cual tiene un área por flecha de $100,000 \text{ ft}^2$ y utilizando la condición de diseño de 0.12 gal/ft^2 , tenemos lo siguiente:

$$\text{Volumen del CBR} = (0.12 \text{ gal/ft}^2 \times 100,000 \text{ ft}^2 / \text{flecha}) = 12,000 \text{ gal/flecha}$$

El tiempo de residencia hidráulica es el siguiente:

$$\text{TRH} = 12,000 \text{ gal/flecha} / 210,000 \text{ gal/h} = 0.057 \text{ h/flecha.}$$

Se debe determinar ahora el número total de CBR necesarios, esto se hace utilizando la ecuación cinética y la gráfica del anexo 3.

Para una temperatura promedio de 21°C la temperatura absoluta es:

$$T = 273 + 21 = 294.$$

$$1/T = 1/294 = 34.01 \times 10^{-4}$$

de la gráfica del anexo 3 se obtiene que:

$$\ln kn = 2.18 \text{ por lo tanto } 8.85 \text{ mg/l h} = kn.$$

De la ecuación cinética de orden cero la cual corresponde a la nitrificación o conversión de nitrógeno amoniacal a nitratos expresada por:

$$dC = kn \cdot dt \quad \text{donde:}$$

$$dC = \Delta C = C_1 - C_e$$

C_1 = Concentración del influente promedio = 38 mg/l

C_e = Concentración del efluente obtenida = 7.5 mg/l

kn = Constante de velocidad de reacción = 8.85 mg/l

de donde se despeja la delta de velocidad mediante todo el tratamiento.

$$dt = (38 - 7.5) / 8.85 = 3.4 \text{ horas.}$$

$$\text{donde el numero total de flechas de CRB} = 3.4 / 0.057 = 60$$

Ahora procede determinar el arreglo final de las flechas:

Arreglo del CBR	No. de trenes	No. de etapas por tren	Q/Tren	TRH/etapa de CRB (min.)	Obser.
1 x 60	1	60	210,000	3.4	>15 min.
2 x 30	2	30	105,000	6.8	>15 min.
3 x 20	3	20	70,000	10.2	>15 min.
4 x 15	4	15	52,000	13.6	>15 min.
5 x 12	5	12	42,000	17	
6 x 10	6	10	35,000	20.4	
10 x 6	10	6	21,000	34	
12 x 5	12	5	18,000	40.8	
15 x 4	15	4	14,000	51	

TABLA 7.

Aquí se debe asegurar que el tiempo de residencia por etapa sea mayor a 15 minutos para asegurar que se encuentre en cada etapa una mezcla completa. Si observamos la tabla anterior, podemos observar que el arreglo más compacto que podemos elegir, con un tiempo de residencia mayor a 15 minutos es el de 6 x 10. Este arreglo consiste en 6 trenes y 10 etapas, cada etapa debe consistir en 10 flechas en paralelo.

Cada etapa tiene $(100,000 \times 10) = 1,000,000 \text{ ft}^2$.

Ahora en esta etapa se calcula la concentración de nitrógeno amoniacal en cada cámara.

Se calcula de la siguiente manera:

Siguiendo la ecuación cinética para reacciones de orden cero la cual pertenece a la conversión de nitrógeno amoniacal a nitratos, donde:

$$\Delta C = kn\Delta t$$

Despejando la concentración de salida tenemos lo presentado en la tabla, utilizando como concentración de influente la concentración promedio que presentó el Interceptor Poniente de 38 mg/lit.

Numero de Etapa	Concentración en mg/lit de NH ₃
1	35
2	32
3	29
4	26
5	23
6	20
7	17
8	14
9	11
10	7.5

TABLA 8. DATOS DE CONCENTRACION DE NITROGENO AMONICAL EN MG/L POR ETAPA.

En esta tabla se presentan las concentraciones por etapa, obtenidas de la ecuación arriba presentada, las cifras de concentración están en números aproximados al valor obtenido.

Como se puede observar en la gráfica del anexo 3, este procedimiento se puede utilizar para cualquier temperatura de operación de los CBR, de esta manera se puede analizar la relación entre la nitrificación y la temperatura, así como la forma en que afecta al diseño.

Los parámetros de diseño están basados en datos utilizados en artículos, los cuales corresponden a los proporcionados por los fabricantes de los CBR norteamericanos.

Sedimentador secundario.

Este sedimentador tiene la función de eliminar las partículas o sólidos que puedan ser arrastradas por el proceso de tratamiento biológico y los sólidos sedimentables que no se alcanzaron a precipitar en el primer sedimentador.

CONCLUSIONES

Los objetivos planteados en esta tesis de manera general, son los de realizar las mediciones correspondientes a las concentraciones de nitrógeno amoniacal y fosfatos al trabajar con un Contactador Biológico Rotatorio, para este fin se trabajó durante 6 meses experimentado de la manera antes descrita con el fin de obtener los resultados característicos de las dos épocas del año mas representativas, la de lluvias y temperaturas bajas, así como las de estiaje y calor.

Al trabajar con el CBR se observó que la concentración de nitrógeno amoniacal se vio reducida en un 80% y la de fosfatos en un 28%, siendo la concentración de nitrógeno amoniacal conveniente para utilizarla como agua de uso agrícola, y la remoción de fosfatos es elevada si se toma en cuenta que el porcentaje de remoción más elevado para un CBR reporta bibliográficamente que es de un 30%.

Se aplicaron los datos obtenidos en este trabajo para poder realizar los cálculos pertinentes para un diseño de un CBR, partiendo de las concentraciones promedio de nitrógeno amoniacal presentadas en el agua del Interceptor Poniente, utilizando un modelo cinético sencillo que nos permite dar un arreglo correcto para esta planta de tratamiento de aguas biológica.

El resultado de este trabajo nos lleva a las siguientes conclusiones:

Como ya ha sido comprobado en trabajos anteriores el Contactor Biológico Rotatorio, es adecuado para la depuración de las aguas residuales del Interceptor Poniente, reduciendo de manera muy considerable la cantidad de DBO, DQO, agregando la cantidad necesaria de oxígeno al agua para que ésta cumpla con las normas establecidas de calidad del agua.

El Contactor Biológico Rotatorio experimental es adecuado para llevar acabo la nitrificación, y se puede realizar una remoción moderada de fosfatos.

El Contactor Biológico Rotatorio experimental puede tratar mayores cantidades de agua, está sujeto a la limitación en el muestreo, se pude acoplar al sistema de tratamiento experimental un motor de menor potencia y así disminuir el gasto de energía eléctrica.

Se propone para optimizar este método de tratamiento al grado de poder utilizar el agua como agua de uso industrial acompañarlo de un proceso químico como es el de la coagulación y floculación para obtener mejores condiciones del efluente del tratamiento.

El método utilizado para el diseño del Contactor Biológico Rotatorio, es el adecuado si se persigue como fin principal obtener la nitrificación del nitrógeno amoniacal, para garantizar la presencia de nitratos útiles para el desarrollo de plantas y otros seres vivos así como para asegurarse que al verter el

agua ya tratada a algún depósito de agua, evitar las altas concentraciones de nitrógeno amoniacal las cuales envenenan a peces y otros seres acuáticos.

El diseño presentado en este trabajo muestra como se pueden tratar grandes efluentes de aguas residuales con el sistema CBR con el fin de utilizarlas ya sea como agua de aplicación agrícola o cualquier otra, sea industrial o simplemente hacer menores las descargas de aguas contaminadas al mar.

Es posible aplicar este método de tratamiento de aguas para el uso agrícola pudiendo suministrar agua a las comunidades aledañas al área de estudio, que se dedican a la agricultura, cambiando el método de siembra que es de temporal a un método mucho más eficiente que el de riego permanente, esto si se acompaña de un estudio técnico y económico adecuado.

Es necesario analizar apoyado en esta exposición la acción de los fosfatos en el suelo de siembra para asegurar que las concentraciones que aquí se reportan no hiperfertilicen los suelos utilizados para la agricultura.

Es posible adaptar un método de tratamiento posterior al biológico para poder darle uso a esta agua con fines industriales, el método sugerido es el de un filtro de arena, este filtro elimina los remanentes de sólidos y DBO en el agua de efluente.

Al operar el CBR experimental se sugiere drenar los lodos generados para evitar el aumento excesivo en la alcalinidad y dureza.

Limitaciones del método.

La limitación que puede dar el diseño de un CBR para suministrar agua para uso agrícola es la inversión inicial, ya que el diseño da un número elevado de etapas para el tratamiento, lo cual puede ser compensado con el bajo costo del mantenimiento, bajo costo del consumo de energía y los beneficios económicos ocasionados por el suministro de agua para la agricultura en zonas aledañas.

El aumento en el número de etapas en el tratamiento ya que la nitrificación se lleva a cabo en las últimas etapas del CBR, a diferencia que la remoción de sólidos y materia orgánica se lleva en las primeras, es decir, para obtener la nitrificación en grandes volúmenes de agua es necesario aumentar el número de etapas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Cecil Leu-Hing, *Biological nitrification of Sluge Supernatant by Rotating Disc.*, Journal of WPFC. Vol. 48 No. 1 1976.
- 2.- Echol. E., *Fasting conditions and Intermittent loading on a fixed film Biological reactor*, Journal WPFC, Vol. 51. No. 10 1979.
- 3.- Clark James, Ethan Moseng, Takashi Asano: *Performance of a Rotating Biological under varying wastewater flow*, Journal WPFC. Washington State University, Pullman, may 1978.
- 4.- Williamson Kenneth, McCarty P., *Verification studies of the biofil model for bacterial substrate utilization*, Journal of WPFC. Vol. 48 No. 2, february 1976.
- 5.- Williamson Kenneth, McCarty P., *A model of substrate utilization by bacterial films.*, Vol 48, No. 1, january 1976.
- 6.- Ju-Chang Huang, Valentino T. Bates., *Comparative Performance of rotating biological contactor using air and pure oxygen*, Journal of WPFC, Vol 52, No 11., november 1980.
- 7.- Hitdelbaugh John A. Miller Roy D., *Operational problems with rotating biological contactors*, Journal of WPFC, Vol. 53 No. 8 august 1981.
- 8.- Mueller James A, Paquin Paul, Famularo Jack., *Nitrification in Rotating biological contactors*, Journal WPFC, Vol. 52 No. 4 april 1980.
- 9.- Gutiérrez Alonso, Boegert Ivan L, Scheible O. Karl, Mulligan Thomas J., *Upgrading Primary Tanks with Rotating Biological Contactors*, EPA-600/2-80-003, march 1980.

- 10.- Calvin P. C. Poon, Ya-Len Chao, Walter J. Mikucky, *Factor Controlling Rotating biological contactor performance*, Journal of WPCF, Vol.51, No.3, march 1979.
- 11.- Metcalf and Eddy, Inc., *Wastewater Engineering Treatment Disposal, Reuse*, Mc Graw Hill Book Company, 2° Edición, 1972.
- 12.- Gary E. Congram, *Biodisk improves effluent-water treatment operation*. Oil and Gas journal, 1976.
- 13.- Howard M. Wexler, *Value Engineering. Make sure the are right*. Water and wastes engineering, 1976.
- 14.- Sheppard T. Pover, *Acondicionamiento de Aguas para la industria*, editorial Limusa, México D.F. 1979.
- 15.- Winkler M.A., *Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho*, editorial Limusa, 1a. Edición, México D.F. 1986.
- 16.- Sudarshan K. Malhotra, Theodore C. Williams, and Willard L. Moleey, *Performance of a Bio-Disk plant in a Northern Michigan Community*, WPCF Conference, Miami Beach Florida 1975.
- 17.- Enos L. Stover and Don F. Kincannon, *One step Nitrification and Carbon Removal*, Water and Sewage Works, Junio 1975.
- 18.- Terán Flores Rodolfo, *Investigación Bibliográfica de los Discos Rotatorios Biológicos como sistema de tratamiento secundario para las aguas residuales domesticas*. D.E.S.F.I., México. D.F.
- 19.- León Palacios J., Rueda Martínez J., *Depuración de las aguas residuales del Interceptor Poniente, utilizando un Contactor Biológico Rotatorio (Biodisco)*, FES Cuautitlán UNAM C. Izcalli 1996.
- 20.- Huerta G. Sófocles, *Marco legal del reglamento para la prevención y control de la contaminación de las aguas*, Revista IMIQ., septiembre 1972.

- 21.- Opatken Edward. J, *An alternative RBC Desing- Second Order Kinetics*, Environmental Progress Vol.5, No. 1, Febrero 1986.
- 22.- Opatken Edward, *RBC Nitrification Desing Using Zero-Order Kinetics*, Environmental Progress Vol.12 No 4. Noviembre 1993.
- 23.- Boy Orlaineta V., *Estudio sobre el tratamiento de las aguas residuales en la unidad Guadalajara de guanos y fertilizantes de México*, Revista IMIQ. Septiembre de 1972.
- 24.- Orozco Carricante G., *Efectos de las Actividades Industriales en el Agua*, Revista IMIQ. Septiembre 1972, México D.F.
- 25.- Osorio Ramírez R., *Caracterización de las aguas residuales del Interceptor Poniente*. Tesis México 1986.
- 26.- Snoyink V.L. Jenkins D., *Química del Agua*, 1ª edición, Capítulo 3, México D.F. 1976.
- 27.- Anzo Abarca J.L. et al., *Reaprovechamiento de Aguas Residuales y Residuos del Procesamiento de Carnos*, Revista IMIQ. Vol. 5-6. Mayo-Junio 1997.
- 28.- A.K. Singhal AWT, *Plant Cuts Nutrients Economically*, Water & Wastes Engineering, november 1975.
- 29.- Fair & Geyer, *Ingenieria Sanitaria y del Agua Residual*, editorial Limusa, México 1984.
- 30.- Benjes H.H., *Handbook of Biological Waste Water Treatment*, Garland STPM Press N.Y. 1980.
- 31.- Durán de Bazua C., *La ingeniería química y la biotecnología uso de reactores de Biodiscos para el tratamiento de aguas residuales en la industria de proceso*. Memorias de la XXX Convención Nacional del IMIQ Eds. Anaya, Canales. Gómez, Bellido, Tomo II pp. 871 - 887.

- 32.- López Martínez J.L., Luna Pabello, V.M, *Modelación de diferentes sistemas de Biodiscos usando una ecuación empírica*, Memorias de Convención Nacional IMIQ. Revista IMIQ Puebla, Puebla, México 1992.
- 33.- Valderrama, S.B, *Evaluación químico - biológica de lodos (biomasa microbiana) obtenidos de un reactor de Biodiscos*, Memoria VI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México, 1988.
- 34.- Levenspiel. *Ingeniería de las Reacciones químicas*, Jhon Wiley & Sons, Segunda Edición, 1972.
- 35.- Benefield and Randall, *Biological Process Desing for Wastewater Treatment*. Prentice Hall, USA, 1984.
- 36.- WPFC -AWA., *Métodos Normalizados para el análisis del agua*. editorial Mc Graw Hill, USA.
- 37.- Winkler M.A., *Tratamiento Biológico de las Aguas de Desecho*, editorial Limusa, 1ª edición, México D.F., 1986.

ANEXOS

ANEXO I. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CADA FECHA DE EXPERIMENTACIÓN.

Resultados de Oxígeno disuelto en p.p.m.

Semana	Influente	Efluente	Fecha
1	0	7.5*	12 / 10 / 1997
2	0	7.5*	28 / 10 / 1997
3	0	6	05 / 11 / 1997
4	0	6	17 / 11 / 1997
5	0	6	24 / 11 / 1997
6	0	6	04 / 12 / 1997
7	0	6	11 / 12 / 1997
8	0	6	11 / 01 / 1998
9	0	4	19 / 01 / 1998
10	0	4	23 / 01 / 1998
11	0	5	04 / 02 / 1998
12	0	4	11 / 02 / 1998
13	0	4	18 / 02 / 1998
14	0	5	25 / 02 / 1998
15	0	3	03 / 03 / 1998
16	0	5	11 / 03 / 1998
17	0	4	18 / 03 / 1998

* Se llevó acabo con un tiempo de residencia igual a 2.2. días.

Resultados experimentales para sólidos totales en mg/l.

Semana	Influente	Efluente	Fecha
1	369	163*	12 / 10 / 1997
2	338	173*	28 / 10 / 1997
3	432	169	05 / 11 / 1997
4	369	153	17 / 11 / 1997
5	385	178	24 / 11 / 1997
6	401	213	04 / 12 / 1997
7	398	218	11 / 12 / 1997
8	664	485	11 / 01 / 1998
9	897	569	19 / 01 / 1998
10	1210	1000	23 / 01 / 1998
11	1704	890	04 / 02 / 1998
12	1210	908	11 / 02 / 1998
13	1000	1400	18 / 02 / 1998
14	1325	947	25 / 02 / 1998
15	1289	1020	03 / 03 / 1998
16	1470	855	11 / 03 / 1998
17	816	840	18 / 03 / 1998

* Se realizó con un tiempo de residencia mayor de 2.2. días.

Resultados experimentales de la DBO en mg/l.

Semana	Influente	Efluente	Fecha
1	165	9*	12 / 10 / 1997
2	310	15*	28 / 10 / 1997
3	158	12	05 / 11 / 1997
4	172	17	17 / 11 / 1997
5	212	13	24 / 11 / 1997
6	196	12	04 / 12 / 1997
7	155	8	11 / 12 / 1997
8	115	8	11 / 01 / 1998
9	123	6	19 / 01 / 1998
10	120	16	23 / 01 / 1998
11	100	16	04 / 02 / 1998
12	128	7	11 / 02 / 1998
13	130	10	18 / 02 / 1998
14	126	9	25 / 02 / 1998
15	116	8	03 / 03 / 1998
16	163	7	11 / 03 / 1998
17	127	12	18 / 03 / 1998

* Se realizó con un tiempo de residencia mayor de 2.2. días.

Resultados Experimentales de la DQO en mg/l..

Semana	Influente	Efluente	Fecha
1	274	66*	12 / 10 / 1997
2	352	20*	28 / 10 / 1997
3	310	23	05 / 11 / 1997
4	316	26	17 / 11 / 1997
5	321	26	24 / 11 / 1997
6	365	23	04 / 12 / 1997
7	320	21	11 / 12 / 1997
8	280	28	11 / 01 / 1998
9	370	30	19 / 01 / 1998
10	380	31	23 / 01 / 1998
11	360	28	04 / 02 / 1998
12	370	31	11 / 02 / 1998
13	385	26	18 / 02 / 1998
14	400	24	25 / 02 / 1998
15	390	29	03 / 03 / 1998
16	362	30	11 / 03 / 1998
17	354	28	18 / 03 / 1998

* Se realizó con un tiempo de residencia mayor de 2.2. días.

Resultados experimentales de los fosfatos en mg/l.

Semana	Influente	Efluente	Fecha
1	n.d.	n.d.	12 / 10 / 1997
2	n.d.	n.d.	28 / 10 / 1997
3	n.d.	n.d.	05 / 11 / 1997
4	n.d.	n.d.	17 / 11 / 1997
5	n.d.	n.d.	24 / 11 / 1997
6	21	13	04 / 12 / 1997
7	24	21	11 / 12 / 1997
8	23	21	11 / 01 / 1998
9	26	13	19 / 01 / 1998
10	31	27	23 / 01 / 1998
11	34	25	04 / 02 / 1998
12	36	23	11 / 02 / 1998
13	34	24	18 / 02 / 1998
14	35	26	25 / 02 / 1998
15	32	27	03 / 03 / 1998
16	34	26	11 / 03 / 1998
17	37	25	18 / 03 / 1998

Donde indica *n.d.* no se determinó, debido a que se dio un intervalo para la formación de la biocapa.

Resultados Experimentales de nitrógeno amoniacal en mg/l.

Semana	Influente	Efluente	Fecha
1	n.d.	n.d.	12 / 10 / 1997
2	n.d.	n.d.	28 / 10 / 1997
3	n.d.	n.d.	05 / 11 / 1997
4	n.d.	n.d.	17 / 11 / 1997
5	n.d.	n.d.	2 / 11 / 1997
6	32	13	04 / 12 / 1997
7	35	13	11 / 12 / 1997
8	37	7	11 / 01 / 1998
9	39	7	19 / 01 / 1998
10	47	9	23 / 01 / 1998
11	46	17	04 / 02 / 1998
12	51	15	11 / 02 / 1998
13	48	4	18 / 02 / 1998
14	44	3	25 / 02 / 1998
15	42	3	03 / 03 / 1998
16	41	4	11 / 03 / 1998
17	36	3	18 / 03 / 1998

Donde indica n.d. no se determinó, debido a que se dio un intervalo para la formación de la biocapa y la disminución de la DBO.

Resultados experimentales de alcalinidad en mg/l.

Semana	Influyente	Efluente		Fecha
1	474	250	1348	12 / 10 / 1997
2	426	130	304	28 / 10 / 1997
3	162	14	47	05 / 11 / 1997
4	158	18	52	17 / 11 / 1997
5	163	22	56	24 / 11 / 1997
6	161	25	55	04 / 12 / 1997
7	181	26	51	11 / 12 / 1997
8	616	92	56	11 / 01 / 1998
9	444	112	58	19 / 01 / 1998
10	432	144	60	23 / 01 / 1998
11	400	135	61	04 / 02 / 1998
12	548	24	140	11 / 02 / 1998
13	557	25	190	18 / 02 / 1998
14	536	27	180	25 / 02 / 1998
15	580	36	232	03 / 03 / 1998
16	560	32	220	11 / 03 / 1998
17	572	31	234	18 / 03 / 1998

fenof. a. metilo.

ANEXO 2. FECHAS DE MUESTREO DE AGUA RESIDUAL.

Lugar	Fecha
Interceptor poniente	11 / 10 / 1997
Interceptor poniente	26 / 10 / 1997
Interceptor poniente	04 / 11 / 1997
Interceptor poniente	16 / 11 / 1997
Interceptor poniente	23 / 11 / 1997
Interceptor poniente	03 / 12 / 1997
Interceptor poniente	10 / 12 / 1997
Interceptor poniente	07 / 01 / 1998
Interceptor poniente	14 / 02 / 1998
Interceptor poniente	21 / 02 / 1998
Interceptor poniente	02 / 02 / 1998
Interceptor poniente	09 / 02 / 1998
Interceptor poniente	16 / 02 / 1998
Interceptor poniente	20 / 02 / 1998
Interceptor poniente	27 / 02 / 1998
Interceptor poniente	03 / 03 / 1998
Interceptor Poniente	11 / 03 / 1998

Todos los muestreos se realizaron manualmente utilizando el mismo criterio para obtener el agua residual.

ANEXO 3. GRÁFICA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD.

Efecto de la temperatura en la constante de velocidad del nitrógeno amoniacal

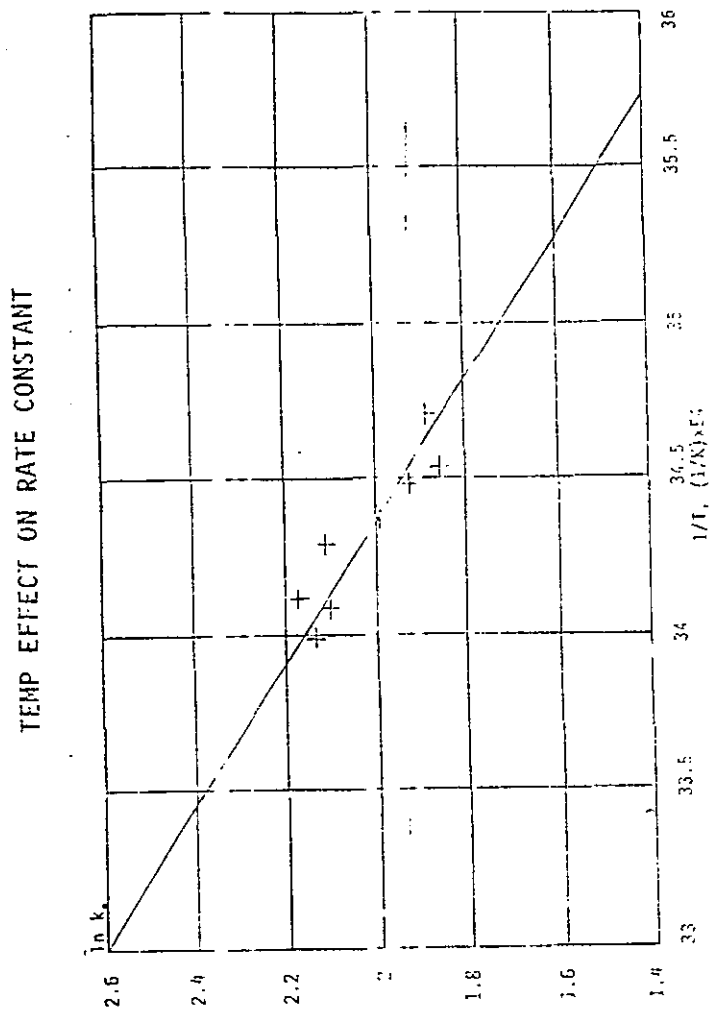


FIGURE 1. Effect of temperature on ammonia nitrogen rate constant (K) [5].

INDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Película Pseudohomogénea de un Reactor de Película Fija.	5
Figura 2. Esquema de la distribución del agua residual y flujo en medio corrugado.	15
Figura 3. Corte transversal de un Contactor Biológico Rotatorio.	31
Figura 4. Figura de una etapa de un CBR.	32

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

INDICE DE GRÁFICAS

	Págs.
Gráfica 1. Relación entre sólidos y DBO.	43
Gráfica 2. Relación entre DBO y nitrógeno amoniacal.	44
Gráfica 3. Remoción de nitrógeno y fosfatos.	45
Gráfica 4. Remoción de DQO y DBO.	46
Gráfica 5. Comportamiento de alcalinidad.	47
Gráfica 6. Comportamiento de sólidos totales.	48

INDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Condiciones para agua de riego.	36
Tabla 2. Características del CBR para la experimentación.	37
Tabla 3. Condiciones iniciales de operación.	39
Tabla 4. Métodos de análisis para la caracterización de aguas.	40
Tabla 5. Resultados promedio experimentales.	42
Tabla 6.	51
Tabla 7.	56
Tabla 8. Datos de concentración de nitrógeno amoniacal en mg/l por etapa.	58