

12<sub>o</sub>  
2<sub>o</sub>



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

DEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE  
EL INTERCEPTOR PONIENTE, UTILIZANDO UN  
CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO (BIODISCO)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N

JESUS LEON PALACIOS

JORGE RUEDA MARTINEZ

ASESOR: I.Q. MARGARITA ALONSO ESPINOZA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
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:  
Depuración de las Aguas Residuales de el Interceptor Poniente  
utilizando un Contactador Biológico Rotatorio (Biodisco)

que presenta al presente: Jaime León Palacios  
con número de cuenta: 8958705-6 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.

ATENTAMENTE.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 15 de Mayo de 1996

PRESIDENTE I.Q.I. Carmen Arriaza Orihuela [Firma]  
VOCAL M.en C. Eligio Pastor Rivero Martínez [Firma]  
SECRETARIO I.Q. Margarita Alonso Espinoza [Firma]  
PRIMER SUPLENTE I.A. Natividad Venegas Herrera [Firma]  
SEGUNDO SUPLENTE I.Q. Ma. Elena Quiroz Macías [Firma]



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES U. N. A. M.

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIO



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

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez 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:  
Depuración de las Aguas Residuales de el Interolector Poniente  
utilizando un Contactor Biológico Rotatorio (Biodisco)

que presenta el pasante: Jorge Rueda Vertines  
con número de cuentas: 8639177-9 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 HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 15 de Mayo de 1976

PRESIDENTE I.Q.I. Carmen Arriaga Orihuela C. Arriaga  
VOCAL M. en C. Eligio Pastor Rívoro Martínez E. Pastor  
SECRETARIO I.Q. Margarita Alonso Espinoza M. Alonso  
PRIMER SUPLENTE I.A. Natividad Venegas Herrera N. Venegas  
SEGUNDO SUPLENTE I.Q. Ma. Elena Quiroz Macías M. Quiroz

**A mis Padres:**

**Sr. Jesús León Bello  
y  
Sra. Olga Palacios De León**

**Por sus consejos que me han  
servido de base para afrontar los  
problemas que se me han  
presentado en el transcurso  
de mi vida.**

**A mi Hermano:**

**Carlos**

**Con fraternal amor**

**A mi familia Paterna y Materna:**

**Con el respeto y cariño  
que se merecen**

**A mis Amigos y Amigas:**

**Por todo lo vivido en la escuela**

**A mis Maestros:**

**En agradecimiento a  
sus enseñanzas**

**A La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

**Con Agradecimiento**

**A mis Padres:**

**Sr. Pedro Rueda Rueda  
y  
Sra. Gloria Martínez de Rueda**

**Por sus consejos que me han  
servido de base para afrontar los  
problemas que se me han  
presentado en el transcurso  
de mi vida.**

**A mi Hermanos:**

**Pedro y Jesús**

**Con fraternal amor**

**A mi familia Paterna y Materna:**

**Con el respeto y cariño  
que se merecen**

**A mis Amigos y Amigas:**

**Por todo lo vivido en la escuela**

**A mis Maestros:**

**En agradecimiento a  
sus enseñanzas**

**A La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

**Con Agradecimiento**

## INDICE

1.0 RESUMEN.....	Pag. 1
2.0 INTRODUCCION.....	Pag. 2
3.0 OBJETIVOS.....	Pag. 12
4.0 LOCALIZACION DE EL AREA DE ESTUDIO.....	Pag. 13
5.0 DESCRIPCION DE LOS CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS.....	Pag. 16
6.0 FACTORES QUE INFLUYEN EN REUSO DE AGUAS RESIDUALES.....	Pag. 29
7.0 CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUA DE REUSO EN ACTIVIDADES AGRICOLAS...Pag. 31	
8.0 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	Pag. 38
9.0 RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	Pag. 45
10.0 ANALISIS DE RESULTADOS.....	Pag. 47
11.0 CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO.....	Pag. 52
12.0 CONCLUSIONES.....	Pag. 59
13.0 APENDICES.....	Pag. 62
14.0 BIBLIOGRAFIA.....	Pag. 76

## 1.0 RESUMEN

El presente trabajo forma parte de un proyecto general, encaminado para ofrecer una alternativa más para el tratamiento de las aguas residuales de el Interceptor Poniente para posteriormente ser utilizadas como agua de riego en los Campos Experimentales de Campo 4.

Dicho proyecto fue realizado en el Laboratorio de Tratamiento de Aguas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C campo 1).

En una primera etapa, se realizó una investigación bibliográfica para encontrar los parámetros de diseño de un Contactor Biológico Rotatorio, el cual pudiera ser utilizado en el laboratorio.

En seguida se procedió a la construcción de dicho Contactor, seleccionando el material adecuado y de bajo costo.

Una vez construido el Contactor, se procedió a determinar las condiciones óptimas de operación en términos de los siguientes parámetros:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Nitrógeno total
- Fosfatos totales

## 2.0 INTRODUCCION

En un principio los pueblos se asentaron en lugares donde las condiciones de vida eran adecuadas, tanto por sus recursos naturales, como por su posición. Los núcleos y después las ciudades como continuación, fueron fijándose y creciendo en lugares próximos a los lagos o cauces superficiales con suficientes recursos hidráulicos para su vida y desarrollo.

Por el crecimiento poblacional en ciudades y sus crecientes necesidades de agua por el aumento de su nivel de vida (mayor demanda de agua), los nuevos campos compuestos por regadío, necesarios para satisfacer las exigencias de una población que evoluciona y por el gran desarrollo industrial, estos recursos han pasado a ser insuficientes tanto para abastecer el núcleo, como insuficientes para recibir los residuos de éste sin modificar la fauna y flora de los ríos y mares.

El río o cauce receptor, se ha ido convirtiendo en vehículo de los residuos de las poblaciones y así se ha planteado uno de los problemas más acuciantes en nuestros tiempos, la contaminación de las aguas.

México, al igual que otros países en vías de desarrollo, se enfrenta a graves problemas de contaminación de agua, suelo y aire, los cuales se acrecientan a medida que los procesos industriales avanzan.

En el campo específico del tratamiento de las aguas residuales, las autoridades gubernamentales han tratado de instrumentar legislaciones que eviten la descarga de estas aguas, con objeto de reducir el grado de contaminación de acuíferos, donde generalmente son enviados dichos efluentes o aguas residuales.

Sin embargo, debido a la falta de tecnologías apropiadas para tratar esas aguas de desecho con procesos, y técnicas económicamente factibles para las condiciones específicas de cada sector o región, la instrumentación está todavía en fase inicial. Las plantas de tratamiento de aguas con que se cuenta actualmente se basan sobre todo en sistemas biológicos aerobios que siguen los diseños extranjeros, que han resultado exitosos en los países donde se han generado esas tecnologías. Sin embargo, dadas las condiciones de México, muchas de ellas han dado resultados satisfactorios desde el punto de vista técnico, económico y ecológico.

Algunos grupos de investigación han estudiado el tratamiento in situ de los efluentes, con el objeto de reducir drásticamente la afluencia de contaminantes de ciertos sectores industriales o domésticos que descargan en los sistemas de drenajes municipales. Con este tipo de investigaciones se tiende a crear un clima de convencimiento con las autoridades y con industriales para que se instalen sistemas de tratamiento ad-hoc para cada tipo de efluente y enviarlos pretratados a los sistemas colectores municipales.

De esta forma las aguas que recibirán las plantas de tratamiento serían principalmente las de tipo doméstico y las aguas industriales provenientes de las plantas de tratamiento in situ y consecuentemente, las cargas de trabajo que se manejarían serían menores y podrían tratarse más eficientemente.

Un efluente es contaminante cuando sus efectos sobre las fuentes acuíferas (ríos, lagos, etc.), son lo suficientemente grandes (cuando sus parámetros fisicoquímicos salen de las normas establecidas) para considerarse inaceptables para cualquier uso.

Entre los diferentes usos del agua están los de escala doméstica (bebida, limpieza, riego, etc.), las naturales (base para la vida de flora y fauna acuáticas), las recreacionales (natación, remo, etc.) y los industriales (medio de enfriamiento o calentamiento, limpieza, materia prima, etc.).

Las fuentes acuíferas pueden asimilar cierta cantidad de desechos antes de alcanzar el llamado "estado contaminado" por tanto, para que una fuente esté contaminada deberá tener un exceso de materiales que pueden convertirse en agentes contaminantes, como son:

- sales inorgánicas
- materia orgánica
- colorantes
- microorganismos
- agentes tensoactivos
- ácidos y/o álcalis
- sólidos en suspensión
- sólidos y líquidos flotantes
- compuestos químicos tóxicos
- materiales radioactivos

En la presente tesis, se trabajó con un tipo específico de efluente líquido contaminado por materia orgánica cuyos efectos son los siguientes:

La materia orgánica, al ser degradada por las bacterias presentes en las fuentes acuíferas, acaba con las reservas de oxígeno de éstas y las convierte en anaerobias, generándose entonces, olores y sabores desagradables, así como condiciones insalubres. El nivel de oxígeno disuelto presente en ríos, lagos, mares, etc., combinándolo con otros factores determina la vida o muerte de la flora y fauna acuática. El intervalo crítico de oxígeno disuelto, generalmente aceptado para la supervivencia de peces es de 3 a 4 ppm ( $\text{mg O}_2/\text{lt}$ ). Por ello, entre las características más importantes a determinar en un efluente líquido contaminado por materia orgánica, se encuentra la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días ( $\text{DBO}_5$ ). La demanda bioquímica de oxígeno, se debe principalmente a la materia orgánica presente, tanto disuelta como en forma coloidal y que se define como la cantidad de oxígeno necesario para biooxidar la materia orgánica presente en aguas residuales.

Un aumento en la carga de  $\text{DBO}_5$ , causada por un aumento en los desechos orgánicos, requiere de una mayor actividad bacteriana y una mayor cantidad de oxígeno. Por esta razón, el hombre ha empleado este tipo natural de asimilación de la materia orgánica por medio de microorganismos, haciéndolo más eficiente.

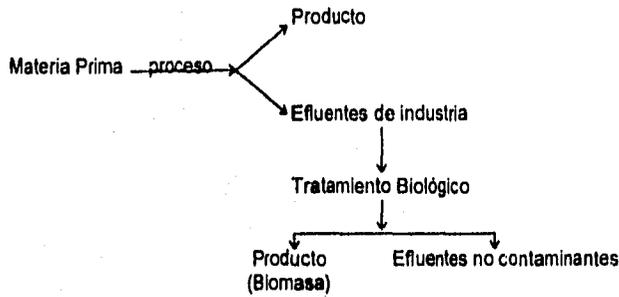
A estos sistemas artificiales se les conoce como plantas de tratamiento biológico de aguas residuales. En ellas, los microorganismos que purifican los efluentes líquidos, se encuentran en unidades o reactores de tratamiento.

La oxidabilidad de la materia orgánica es determinada por métodos respirométricos, usando microorganismos específicos. Se han empleado diferentes parámetros para caracterizar a las aguas residuales o de desecho. Entre estos está la  $\text{DBO}_5$ , ya definida; la demanda química de oxígeno (DQO), que es una medida de el contenido de materia orgánica total, sea o no biodegradable; el oxígeno disuelto (O.D.), que es una medida de el oxígeno molecular disuelto en las aguas; acidez o basicidad (pH); turbiedad, que sirve para conocer la apariencia del agua residual; sólidos en suspensión, sólidos disueltos y sólidos totales; conductividad; temperatura; color; olor; fosfatos; nitratos; nitrógeno Kjeldahl; alcalinidad; metales pesados; aceites y grasas; cianuros; análisis microbiológicos; etc.

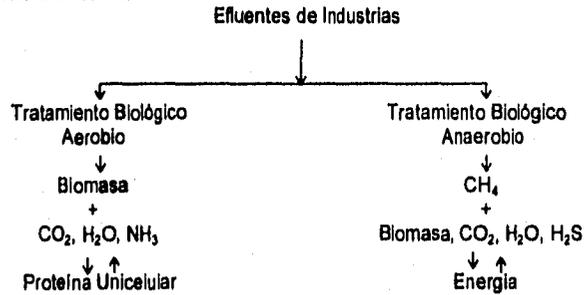
Los principales efluentes líquidos contaminados con materia orgánica altamente biodegradable, son los de origen doméstico, los de la industria alimentaria para consumo humano y animal y en general, los de industrias que procesan materiales biológicos animales y vegetales. A los desechos líquidos de la industria alimentaria, a diferencia de los generados por la industria química

petroquímica, y otras similares, les faltan muchas de las características típicas nocivas como pueden ser la presencia de metales pesados u otros elementos dañinos para la vida.

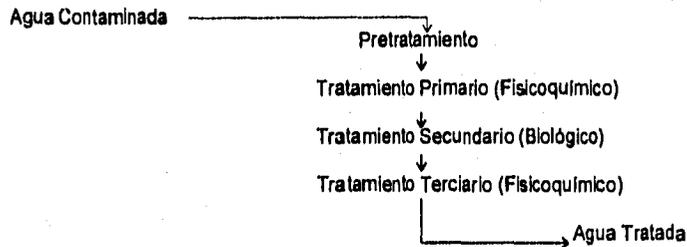
La materia orgánica que contienen estos efluentes es similar a la del alimento que se procesa. Esto permite la recirculación directa de estos "desechos" hacia la economía humana, siendo entonces una nueva materia prima para otro proceso:



A partir del tratamiento biológico existen dos tipos principales de productos obtenibles, que son energía y proteína unicelular:



Para situar los tratamientos biológicos y en específico, los de película biológica activa, que en forma natural se lleva a cabo por medio de microorganismos adheridos a las rocas de los lechos de los ríos, se tiene el siguiente esquema general en las plantas de tratamiento de agua:



El tratamiento biológico tradicional de los efluentes líquidos normalmente se encuentra dividido en 3 etapas: Tratamiento Primario o Sedimentación, Tratamiento Secundario o biooxidación (Tratamiento Biológico) y Tratamiento Terciario, o eliminación por cualquier método fisicoquímico de las sustancias que no fueron biodegradadas.

En el tratamiento primario se eliminan sólidos en suspensión cuando su concentración y tamaño de partícula hacen posible esta separación. Industrialmente la sedimentación es el método más económico. Muchos desechos no requieren este paso por que su contenido de sólidos es insignificante. En el caso de materiales que ascienden a la superficie debido a su baja densidad, la separación se hace mediante el empleo de los desnatadores.

La decantación primaria puede diseñarse con 2 objetivos:

1. Con base al máximo rendimiento y otro consistente en obtener un rendimiento suficiente para el correcto funcionamiento de la siguiente etapa.

Ambos son totalmente válidos, pero, una vez establecida la alternativa son condiciones fijas las de las aguas que pasan al tratamiento secundario. Una vez adoptada una de las alternativas del tratamiento primario, el tratamiento biológico está influido en su funcionamiento.

En el tratamiento secundario las alternativas posibles son en principio 2, dentro de los procesos convencionales. La diferencia fundamental es la elección de un tratamiento químico o biológico. Los resultados de ambos son bastante similares en cuanto a los efectos, pero su mecanismo funcional es distinto. En el tratamiento químico precisamos la introducción de cantidades importantes de reactivos, necesitamos unos sistemas de dosificación muy correctos, necesitamos unos equipos de personal preparados, que periódicamente, o casi de forma continua, tiene que estar modificando las dosificaciones para un correcto rendimiento. En el proceso biológico, la formación de floculos con peso suficiente para poder separarse de la masa de agua, se logra gracias a la acción enzimática y metabólica de los microorganismos, que están en el agua residual. El equipo encargado del sistema no tiene que preocuparse del propio mecanismo funcional, el sistema biológico tiene inercia suficiente para aceptar las modificaciones de carga y problemas que puedan surgir.

El proceso biológico es un mundo ecológico totalmente cerrado, totalmente coartado y que, tiene un rendimiento óptimo en una situación dada de caudal y de carga. Es un mundo ecológico donde un volumen fijo, una cantidad de microorganismos vivos, de acuerdo con el sistema seleccionado admite una única carga. Nuestro sistema para lograr un funcionamiento correcto consiste en mantener las condiciones vitales de esos microorganismos e introducir un caudal constante y una carga orgánica constante

En un proceso químico el consumo de reactivos oscila entre 90- 250 mg/lit, cuyo coste, unido al del control permanente de la dosificación por técnicos especialistas, obliga a descartar el sistema, salvo excepciones, en favor de los tratamientos biológicos.

El tratamiento terciario se usa para eliminar material orgánico insoluble de baja densidad, material soluble o en forma coloidal que no pudo ser eliminado en el tratamiento biológico y su subsecuente sedimentación secundaria. Para la materia en suspensión que permanezca en los efluentes, los métodos más usados son la decantación y/o filtración. Para el material soluble o coloidal se usa la coagulación y la absorción sobre carbón activado.

Los procesos biológicos unitarios efectúan la remoción de los contaminantes mediante la actividad biológica. Los tratamientos biológicos se utilizan principalmente para remover del agua material orgánica biodegradable en solución o en estado coloidal. Estos contaminantes son convertidos a gases y tejido biológico, que es factible de separar por sedimentación del agua tratada. (ref. 11)

## 2.1 GENERALIDADES DE PROCESOS BIOLÓGICOS

Los procesos biológicos unitarios pueden clasificarse en 4 grandes grupos que son:

1. Procesos aerobios
2. Procesos anaerobios
3. Procesos anóxicos
4. Procesos aerobios-anóxicos o anaerobios-anóxicos

### 1. Procesos aerobios

En los procesos aerobios, intervienen microorganismos que requieren la presencia de oxígeno molecular libre en solución para su subsistencia y son llamados microorganismos aerobios obligados. También existen microorganismos que pueden subsistir en ausencia de oxígeno libre molecular en solución.

### 2. Procesos anaerobios

En los procesos anaerobios, los microorganismos no requieren de la presencia de oxígeno molecular en solución y son llamados microorganismos anaerobios obligados. También existen los facultativos que pueden subsistir en ausencia o presencia de oxígeno molecular libre en solución.

### 3. Procesos anóxicos

En los procesos anóxicos intervienen microorganismos que no requieren de oxígeno molecular libre en solución ya que las necesidades de oxígeno para su subsistencia, las obtienen de compuestos inorgánicos aceptores de electrones como son los nitritos y nitratos.

### 4. Procesos aerobios-anóxicos o anaerobios-anóxicos

En estos procesos intervienen tanto microorganismos aerobios obligados o facultativos y anóxicos o anaerobios obligados o facultativos y anóxicos.

Por otro lado, esos procesos individuales pueden a su vez implementarse con los siguientes sistemas:

- A) Sistemas de microorganismos en suspensión
- B) Sistemas de microorganismos fijos en una película
- C) Sistemas combinados de película fija y crecimiento en suspensión

#### A) Sistemas de microorganismos en suspensión

Los procesos con crecimiento de microorganismos en suspensión, son aquellos en los que los microorganismos responsables para la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes en las aguas de desecho a gases y tejido celular son mantenidos en suspensión en el líquido en tratamiento, presentando así, la mayor área superficial posible.

#### B) Sistemas de película fija

Los sistemas de película biológica activa fija, son aquellos en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes en las aguas de desecho a gases y tejido celular, están fijos a algún medio inerte como son rocas, materiales plásticos, cerámicos especialmente diseñados.

### C) Sistemas combinados de película fija y crecimiento en suspensión

En estos sistemas combinados los microorganismos se encuentran tanto fijos como en suspensión.

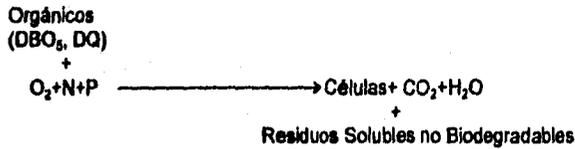
Las principales aplicaciones de estos procesos son la remoción de materia orgánica de tipo carbonáceo en aguas de desecho, medido como DBO<sub>5</sub> y DQO (siglas descritas anteriormente), las de nitrificación, las de desnitrificación y las de estabilización.

A continuación se desglosan estas aplicaciones en forma somera:

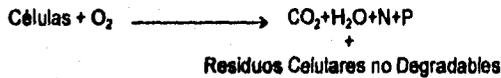
#### 1. Remoción de materia orgánica de tipo carbonáceo en aguas de desecho, medido como DBO<sub>5</sub> y DQO:

En esta aplicación existe la conversión de materia orgánica de tipo carbonáceo a tejido celular y gases de desecho metabólico. En la conversión se supone que el nitrógeno presente en sus varios compuestos se convierte a amoníaco:

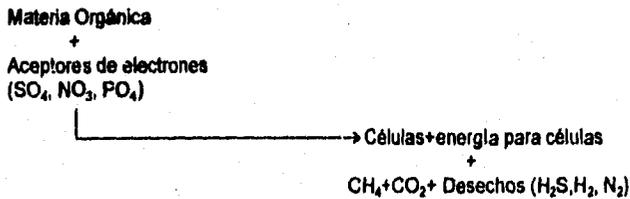
Proceso aerobio : (ref. 13)



Si existe fase endógena también sucede la siguiente reacción:



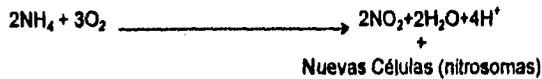
Procesos anaerobios: (ref. 32)

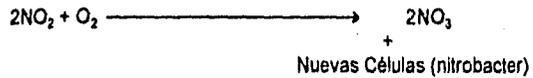


#### 2. Nitrificación

Es el proceso biológico, el cual se lleva en 2 etapas, en el que el amoníaco pasa a nitritos y después a nitratos:

Proceso de nitrificación:





### 3. Desnitrificación

Es el proceso biológico en el que el nitrato pasa a nitrógeno y otros gases de desecho metabólico:  
Proceso de Desnitrificación



### 4. Estabilización

La estabilización es el proceso biológico en el que la materia orgánica en los lodos de tratamiento biológico de las aguas de desecho, es estabilizada, usualmente por conversión de ésta a gases y tejido celular.

Los sistemas de película fija activa se pueden clasificar en sistemas de medio de soporte estacionario y en sistemas de medio de soporte en movimiento.

En los sistemas de medio de soporte estacionario, el agua de desecho pasa sobre el medio de soporte y en los sistemas de medio de soporte en movimiento, el medio de soporte se mueve a través del agua en tratamiento. En ambos el agua de desecho se mueve en relación a la película microbiana y el soporte sólido a la que se fija.

En estos sistemas se tiene generalmente condiciones aerobias o anaerobias. Cada una de ellas tiene sus ventajas y sus desventajas sobre la otra.

En el sistema anaerobio:

- La velocidad de tratamiento no está limitada por la velocidad de aportación de oxígeno al sistema.
- No se requieren diluciones para balancear los requerimientos de oxígeno y la capacidad de oxigenación del sistema, por lo que se puede tratar desechos con alta concentración de contaminantes.
- Se tiene un ahorro de energía al no requerirse una aereación u oxigenación del mismo.
- Se obtiene gas metano, de la actividad microbiana, utilizable como combustible.
- También se evitan los problemas de malos olores y presencia de moscas, ya que debe estar aislado del medio ambiente.
- En los sistemas con calentamiento, gran parte de los microorganismos son destruidos, pero no en su totalidad.
- En el rendimiento de biomasa es mucho más bajo que en los sistemas aerobios.
- Los sistemas anaerobios requieren de tiempos de retención muchos más largos que los aerobios, ya que los contaminantes biodegradables son metabolizados en forma más lenta.
- Por la razón anterior, se necesitan unidades de tratamiento de mayor capacidad.
- La digestión anaerobia es muy sensible a la inhibición por ciertas sustancias como son: metales pesados, hidrocarburos clorinados y detergentes aniónicos.
- Los sistemas anaerobios tienen también la capacidad de permitir la existencia de organismos sulfato-reductores, por lo que se podría producir  $\text{H}_2\text{S}$ , útil en la precipitación de metales pesados de la solución, y altamente corrosivo.
- Finalmente, el sistema anaerobio es un sitio ideal para la proliferación de microorganismos causantes del tétanos y botulismo, además de provocar olores nauseabundos, si llegaran a presentarse fugas en el sistema. (ref. 43).

## 2.2 GENERALIDADES DE PELICULA BIOLOGICA ACTIVA

En los sistemas de película fija, los microorganismos responsables de la conversión de materia orgánica u otros constituyentes en las aguas de desecho a gases y tejido celular, crecen en forma de capa o película adherida a un material inerte, que sirve de soporte.

El agua de desecho fluye sobre la película biológica en forma de una capa muy delgada. El oxígeno atmosférico o administrado al sistema, en el caso de películas aerobias se disuelve en el líquido que cubre la biopelícula y es transferido hacia esta, a su vez que el material orgánico disuelto en las aguas es adsorbido en la película.

En la figura 2.1, puede verse en forma clara, la manera en como está constituida la biopelícula y como llegan y parten de ella los nutrientes (sustratos) y desechos metabólicos (productos). (ref. 28, 43).

La biopelícula se forma, ya que las bacterias como partículas microscópicas cargadas, son adsorbidas y ancladas en interfases sólido-líquido, para después multiplicarse por varias generaciones y crear una biopelícula de bacterias empacadas compactamente. (ref.42)

La biopelícula ya formada, empieza a aumentar en espesor al multiplicarse los microorganismos que la constituyen, hasta llegar a un punto en que el oxígeno que se difunde en la biomasa es consumido antes de penetrar el espesor total de la biopelícula. Este fenómeno hace que se establezca un ambiente anaerobio en la parte cercana al medio inerte de soporte.

Conforme, el espesor de la biopelícula aumenta, la materia orgánica es también metabolizada antes de que llegue a lo más profundo de la biocapa, teniendo como resultado que los microorganismos cercanos al medio de soporte, pasen de una fase de crecimiento exógeno a una de crecimiento endógeno, perdiendo la habilidad de anclaje al material de soporte.

La anaerobiosis se ha propuesto como la causa de iniciación del proceso de desprendimiento de la película microbiana, debido a que por el crecimiento endógeno, hay muerte y deterioro de las capas profundas y por ende, desprendimiento de la biocapa.

Las condiciones anaerobias también dan ocasión a la formación de bolsas de gases de desecho metabólico en la biomasa, que provocan que la biocapa se empiece a desprender del soporte ya debilitada en su adherencia al medio inerte de soporte, el esfuerzo cortante que sufre la biocapa al fraccionarse contra el agua de desecho acaba por arrancarla.

En las zonas a donde se desprende la biopelícula, comienza el crecimiento de una nueva. Es por esta serie de fenómenos que se puede considerar como autorregulable el espesor de la biopelícula.

La biopelícula no es activa en todo su espesor. El primero en demostrar esto fué Sanders (ref. 33,34) y se ha encontrado que los espesores de la biopelícula activa van desde 21 micras hasta 150 micras, siendo el espesor función de los sustratos limitantes. (ref. 16).

La eficiencia de purificación de la biopelícula alcanza su máximo, cuando existe una biocapa delgada completamente aerobia y la eficiencia de ésta puede decaer ligeramente al incrementarse su espesor, haciéndose las zonas profundas de la biocapa, inactivas o anaerobias. Así que, aunque la biocapa pueda tener un espesor de varios milímetros, tan solo la capa externa de 0.05-0.015 mm. de profundidad será aerobia.

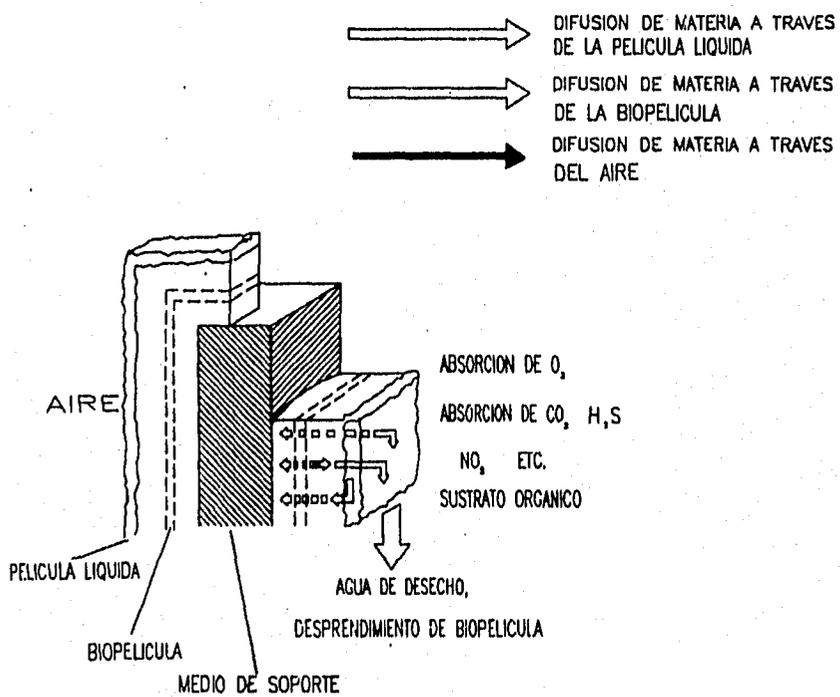


FIG. 2.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA PELICULA BIOLÓGICA ACTIVA FIJA.

Los resultados experimentales, han demostrado que la remoción de los sustratos por la biopelícula microbiana, aumenta linealmente al aumentar el espesor de ésta, hasta un nivel máximo, el que se mantiene constante, con mayores incrementos del espesor de la biopelícula. (ref. 26,27,39).

El espesor de la capa activa de la biopelícula depende de las características del agua de desecho en tratamiento y de la Ecología de la biopelícula. El espesor de la biopelícula que da la máxima eficiencia se ha encontrado en 0.25 mm. (ref. 25)

En la zona aerobia, se ha estudiado su espesor entre 0.06 y 2 mm., con un espesor crítico formado por bacterias principalmente de alrededor de 0.2 mm. y entre 0.05 y 0.01 mm. de espesor activo aerobio, con un espesor total de 0.1-2 mm.. (ref. 8).

Algunos desechos industriales ricos en nutrientes como los de la industria de alimentos, estimulan la formación de la biocapa, usualmente predominando películas de hongos que pueden alcanzar espesores de 5 a 8 mm., que permanecen completamente aerobios. (ref. 41).

Los espesores tanto de la película como de la capa activa dependerán de la carga de nutrientes en el sistema y de la actividad metabólica de los organismos de la biopelícula. Las velocidades a las que el oxígeno y nutrientes orgánicos se difunden en la biopelícula, dependerá de sus respectivas concentraciones en la capa líquida, en contacto con la biopelícula. Cuando la concentración de nutrientes es alta en el líquido, el gradiente de concentraciones causará una rápida difusión de nutrientes en la película, por lo que penetrará más profundamente en la biopelícula antes de ser consumidos. Atkinson y Fowler (ref. 4), correlacionaron los resultados de Tomlinson y Snadon (ref. 39), demostrando que la profundidad de penetración en la biopelícula es aproximadamente proporcional a la concentración de sustrato aplicado.

La profundidad de penetración se incrementa de 0.06 a 0.15 mm. con un incremento en la concentración de sustrato de 10 a 500 gr./m<sup>3</sup>. La Motta (ref. 27) demostró que el espesor de la película, que da un máximo de remoción de sustrato, se incrementa aproximadamente con la raíz cuadrada de la concentración del sustrato del influente en un intervalo de 0.012 mm. con 2.2 gr/m<sup>3</sup> hasta 0.065 mm. con 200 gr./m<sup>3</sup>.

Sugiere Benjes (ref. 7) que la capa en la biopelícula actúa como un amortiguador y da al sistema la habilidad para moderar los efectos en los cambios en el ambiente operacional, cambios como son los de temperatura y de carga.

Si la carga orgánica en la superficie activa de biopelícula se reduce, los nutrientes no penetrarán tan profundamente en la biopelícula antes de ser consumidos y por ende utilizando una población microbiana menor; al haber una caída de temperatura la actividad de los microorganismos se reduce y por lo tanto, la carga orgánica penetrará más profundamente en la biopelícula y por ende se utilizará una población microbiana mayor. (ref. 43).

### **3.0 OBJETIVOS**

En base a las investigaciones y estudios ya realizados, el objetivo general de esta tesis es:

Efectuar un estudio de tratabilidad, utilizando un Contactor Biológico Rotatorio, alimentado con aguas residuales del canal Interceptor Poniente.

Para proponer la alternativa técnica aplicable a dichas aguas, se cumplirá con los siguientes objetivos específicos:

1. Diseño de el Contactor Biológico Rotatorio
2. Construcción de el Contactor Biológico Rotatorio
3. Evaluación de el comportamiento de el Contactor Biológico Rotatorio
4. Caracterización de las aguas de el Interceptor Poniente
5. Establecer condiciones de operación.
6. Comparación de la Eficiencia teórica y experimental de los resultados obtenidos de las pruebas de tratabilidad, utilizando el Contactor Biológico Rotatorio

#### 4.0 LOCALIZACION DE AREA DE ESTUDIO

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, se encuentra localizada dentro del área metropolitana del Estado de México, en el municipio de Cuautitlán Izcalli.

La FES-C campo 4, colinda al norte con otros predios, al sur con la avenida Jesús Jiménez Gallardo, la cual cruza al canal Interceptor Poniente por medio de un puente y comunica con la autopista México-Querétaro. Al este colinda con la avenida 20 de Noviembre, la cual comunica al municipio de Cuautitlán de Romero Rubio con el municipio de Teoloyucán. Al oeste colinda con el canal Interceptor Poniente, el cual corre a todo lo largo de la zona de cultivo de campo 4.

Las principales vías de comunicación del D.F. a campo 4 son: la autopista México Querétaro y la antigua carretera a Cuautitlán.

Este canal constituye un sistema de drenaje profundo para el desalojo de las aguas residuales del D.F., este sistema cruza los municipios de Naucalpán, Tlalneantla y Cuautitlán, en el Estado de México. Recorre el valle de Cuautitlán de Sur a Norte a través de un canal a cielo abierto, en el que son vertidos tanto aguas residuales de origen doméstico como industrial.

A lo largo de 10 Km desde el puente de Lechería hasta el puente que se encuentra al finalizar la zona de cultivo de campo 4, se encuentran en el área de influencia del Interceptor Poniente, un gran número de fraccionamientos y poblaciones urbanas pertenecientes a los municipios de Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán y Tultitlán, así como las zonas industriales de Lechería, Cuautitlán Izcalli, Parque industrial Cuamatla y corredor Industrial Xhala.

Dentro de este mismo trayecto se localizan alrededor de 20 alcantarillas que desembocan sus aguas al canal Interceptor Poniente, aunque las industrias no lo hacen directamente, estas lo hacen en el sistema de drenaje municipal, el cual finalmente se incorpora al canal Interceptor Poniente. (ref. 17).

Dentro del área de influencia predominan doce grandes ramas de la industria:

1. Fabricación de productos metálicos
2. Fabricación de sustancias y productos químicos
3. Fabricación de maquinaria y accesorios eléctricos
4. Fabricación de textiles
5. Manufactura de productos alimenticios
6. Construcción, ensamble y reparación de equipos de transporte
7. Industrias metálicas básicas
8. Fabricación, ensamble y reparación de maquinaria y equipo
9. Fabricación de otros productos minerales no metálicos
10. Fabricación de productos de celulosa, papel y cartón
11. Fabricación de muebles y accesorios de madera
12. Fabricación de calzado

Se sabe que el 90% de la contaminación del agua es causada por la actividad industrial, particularmente de las ramas azucareras, petroquímica, de papel y celulosa, textil, química y siderúrgica. El segundo lugar en aportación de contaminantes lo tiene la actividad doméstica aportando el 9.5% de la contaminación global. El tercer sitio le corresponde a la industria extractiva, minería y petróleo con el 0.5% del global.

Con lo anterior, corroboramos que las aguas del Interceptor Poniente están "cargadas" con todos los efluentes de las industrias que causan la contaminación.

#### 4.1 UBICACION DE ESTACIONES DE MUESTREO

Con el seguimiento del objetivo general del proyecto del cual forma parte esta tesis, y que es la de dar tratamiento a una porción de las aguas residuales del Interceptor Poniente, para su utilización como agua de riego en los campos experimentales de la FES-C campo 4, se ubico como estación de muestreo única, el cruce del puente Jesús Jiménez Gallardo con el canal Interceptor Poniente. Ya que en esta intersección se localiza el lugar óptimo para la instalación de la posible planta de tratamiento.

#### 4.2 MUESTREO

Los datos de calidad son de suma importancia cuando se cumplen satisfactoriamente las etapas de campo y laboratorio, para esto es necesario realizar un muestreo representativo de las condiciones que existen en el punto y hora de muestreo. Un muestreo bien realizado asegura la validez de los resultados, ya que representa las fluctuaciones reales en el tiempo y en el espacio de la calidad del agua.

Con este fin, describimos lineamientos que se deben tomar en cuenta, en el trabajo de muestreo del Interceptor Poniente.

Entre los diferentes factores a considerar cuando se proyecta un programa de muestreo, los más importantes son:

- Objetivos totales del estudio
- Puntos de toma de muestra
- Datos que se requieren obtener
- Epoca del año
- Número total de muestras
- Método de efectuar la toma
- Frecuencia de la toma de muestras
- Formulación estadística de los datos
- Precauciones de las muestras antes de el análisis

**Objetivos totales de el estudio:** Los estudios pueden variar considerablemente en relación con sus objetivos. La importancia de los otros 8 factores dependerán en algún grado, de los objetivos totales de el estudio.

**Número total de muestras:** El número de muestras necesario depende de los objetivos de estudio y la cantidad de tiempo y esfuerzo que se dedique. Normalmente es mucho más seguro utilizar pocos puntos y varias muestras para obtener los resultados con un posible significado estadístico, que usar muchas estaciones con pocas muestras en cada una. Las muestras deben tomarse normalmente con grandes intervalos, durante los cuales las condiciones de la corriente estén sujetas a variaciones. Es mejor concentrarse en un programa de muestras frecuente, intensivo y bien definido.

**Puntos de toma de muestra:** Los puentes sobre la corriente son de gran ayuda para recoger muestras uniformes y medir las secciones transversales y velocidad del agua.

**Método para efectuar la toma:** Cuando el flujo de la corriente es uniforme, se toman muestras iguales para hacer posteriormente una muestra compuesta. El volumen de la muestra depende de el número y tipo de los análisis que se lleven a cabo con las muestras individuales o compuestas.

**Datos que se deben obtener:** Si el estudio es de un carácter general, el analista debe realizar cuántos ensayos químicos, físicos y biológicos sea posible como información para la posterior interpretación y evaluación de los datos.

**Frecuencia:** Las muestras se deben tomar tan frecuentemente como sea necesario para dar una muestra representativa total.

**Epoca:** La época de el año es de la mayor importancia cuando los resultados se obtienen para un fin concreto. La preocupación principal se refiere a determinar las condiciones críticas de contaminación que existe generalmente cuando la temperatura es más alta, la corriente tiene el menor caudal y la contaminación no natural es la más alta posible.

**Formulación estadística de los datos:** Es un hecho bien conocido, que los datos se pueden preparar para dar más importancia al aspecto del estudio que se considere como más interesante.

**Precauciones con las muestras antes del análisis:**

Generalmente entre la extracción de las muestras y su análisis en laboratorio existe un intervalo de tiempo que puede ser de horas o días. Durante este tiempo, toman lugar reacciones físicas, químicas o bioquímicas, que cambian las características reales de la calidad del agua. Para resolver ese problema es necesario preservar las muestras con la adición de reactivos químicos o bajando la temperatura para retardar dichas reacciones. El tiempo máximo de almacenamiento y medio de preservación se encuentran en la tabla 4.1, para su determinación.

Tabla 4.1 Preservación de muestras

PARAMETRO	MEDIO DE PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO DE ALMACENAMIENTO
pH	refrigeración a 4°C	24 horas
	refrigeración a 4°C	7 días
	2 ml/l de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7 días
	A determinar in situ	
	No se requiere	
	40 mg/l HgCl <sub>2</sub> conc. 4°C	7 días
pO <sub>2</sub>	Ninguno útil	
	40 mg/l HgCl <sub>2</sub> conc. 4°C	7 días
	Ninguno útil	
	No se requiere	
	No se requiere	
	No se requiere	

## 5.0 CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS

### 5.1 DESCRIPCIÓN

Los Contactores Biológicos Rotatorios (contactor es un término acuñado de reactor de contacto), están constituidos por grandes discos de plástico montados en una flecha horizontal y se encuentran colocados en tanques de concreto o fibra de vidrio. Los discos rotan lentamente y generalmente un 40% del área superficial de estos se encuentra sumergida en el agua de desecho.

Inmediatamente después del arranque del reactor, los microorganismos, que se encuentran en el agua de desecho, empiezan a adherirse a las caras de los discos y comienzan a multiplicarse hasta que en un período de aproximadamente una semana toda la superficie de los discos se encuentra cubierta por una biopelícula con espesores de 1-4 mm.

La biomasa adherida contiene de 50,000 a 100,000 mg/lt. de sólidos suspendidos. Si la biopelícula fuese arrancada de los discos y dispersada en el licor mezclado, su concentración sería de 10,000 a 20,000 mg/lt. Tan alta población microbiana permite altos grados de tratamiento en tiempos de retención relativamente cortos.

Al rotar los discos, una parte de la biopelícula es expuesta al aire y esta a su vez arrastra una película de agua en tratamiento, que escurre hacia abajo sobre la biopelícula absorbiendo oxígeno del aire. Los microorganismos de la biopelícula entonces consumen este oxígeno disuelto y los materiales orgánicos de la película de agua. La biopelícula expuesta al aire, también consume materia orgánica y oxígeno disuelto al encontrarse sumergida en el agua de desecho.

El oxígeno disuelto que no es consumido en la película de agua de desecho que escurre de los discos, se mezcla con los componentes del licor mezclado, lo que mantiene una concentración determinada de oxígeno disuelto en el licor mezclado.

Los esfuerzos cortantes generados al volver a entrar la biopelícula al agua y pasar a través de ella, causan que el exceso de biomasa sea arrancada del medio de soporte y pase a formar parte del licor mezclado. Este fenómeno mantiene una población microbiana constante sobre los discos. El mezclado generado por la rotación de los discos, provoca que la biomasa desprendida se mantenga en suspensión y el flujo del agua en tratamiento se encarga de sacarlo del sistema para, posteriormente, ser separada del agua en tratamiento en un filtro de arena.

El medio de soporte, operando de esta manera, tiene las siguientes funciones:

1. Proveer el área superficial para el desarrollo de grandes cultivos biológicos fijos.
2. Proveer un contacto vigoroso entre la biopelícula y el agua de desecho.
3. Airear eficientemente el agua de desecho
4. Proveer un mecanismo eficiente para el desprendimiento constante del exceso de biomasa.
5. Agitar el licor mezclado para mantener los sólidos generados en suspensión y para mezclar adecuadamente cada etapa de tratamiento.

La naturaleza de estos microorganismos en este sistema es muy diferente al desarrollado por los sistemas llamados percoladores. En estos el crecimiento es uniforme en espesor, y frecuentemente tiene una apariencia gelatinosa por lo que se le llama también lodo. En contraste, la biopelícula del contactor biológico rotatorio es afelpada, con muchos filamentos microscópicos que se proyectan hacia afuera de la película adyacente al agua.

En la figura 5.1 se observan estas características de esta biopelícula y la de un percolador (ref. 3). En conjunto, representa un área superficialmente activa, más grande que la del filtro, lo que da una porción más grande de biomasa aerobia activa. La rugosidad de la biopelícula no se debe a la

presencia de especies de microorganismos especiales, sino a la acción de la rotación, que al hacer pasar la biomasa por el agua y el aire propicia la formación de estos filamentos microscópicos.

Este crecimiento filamentosos es más apreciable en las etapas iniciales, donde el crecimiento de la biopelícula es más alto.

En la literatura técnica y las observaciones empíricas describen la biomasa típica sobre los contactores biológicos rotatorios como una masa tupida de color café dorado, dándose este crecimiento biológico en las etapas iniciales, donde la carga orgánica es mayor.

Un examen microscópico de una buena biomasa, nos muestra flocos bacterianos, numerosos cilios de libres movimientos y en las últimas etapas encontramos rotíferos y nematodos. Sin embargo, cuando en la primera etapa, esta operando con una continua carga orgánica elevada, el espesor de la película se incrementa y una biomasa de color blanca-grisácea cubre porciones sustanciales (por ejemplo 40%) de la superficie del material de soporte.

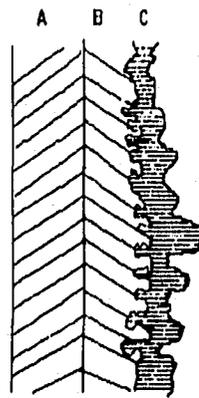
Operando continuamente de una manera de sobrecarga orgánica puede causar un deterioro en la ejecución del proceso, dependiendo de la extensión de los organismos perjudiciales y de la extensión del material de soporte. Una sobrecarga orgánica esta caracterizada por el crecimiento excesivo del espesor de la película biológica sobre la superficie media y puede ser acompañado por uno o más de los siguientes problemas operacionales del proceso:

- Hay un déficit en la disolución del oxígeno en el seno del líquido.
- Dificultad para la transferencia de oxígeno a partir del seno del líquido y del aire hacia las capas interiores de la biopelícula de los discos del CBR.
- Condiciones anaerobias de la biopelícula son causa de especies indeseables de microorganismos (tal como la bacteria azufre-oxidante, por ejemplo, Beggiatoa y otros microorganismos filamentosos).
- Desarrollo de microaerófilos que predominan en la biopelícula y reducen la remoción de DBO, el cual es atribuido a sus bajos rangos de metabolismo.
- Desarrollo de malos olores a partir del seno del líquido y de la biopelícula.
- Los requerimientos de energía se incrementan.
- Desequilibrio de la carga estructural, sobrecarga estructural y fallo estructural del armazón de soporte y de la flecha central. (ref. 14).

El mecanismo principal de desprendimiento de la biopelícula en el Contactor Biológico Rotatorio es, en general, por el esfuerzo cortante hidráulico y no por anaerobiosis. El crecimiento filamentosos es limitado por la resistencia de la biopelícula al esfuerzo cortante causado por la rotación, lo que provoca que el espesor de la biopelícula se autorregule.

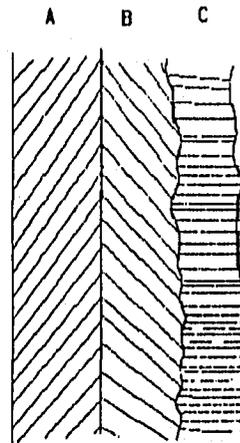
La biomasa es arrancada en conglomerados grandes de microbios de biomasa densa fácilmente sedimentable. La rotación del medio de soporte provee turbulencia en la interfase de biomasa y agua de desecho, por lo que el oxígeno disuelto y materia orgánica soluble puede llegar al interior de la biomasa, tanto por difusión como por el mecanismo del mezclado. (ref. 3).

REACTOR BIOLOGICO ROTATORIO



PELICULA PSEUDO HOMOGenea

FILTRO PERCCLOPRADO



PELICULA HETEROGENEA

A-SOPORTE INERTE

B-BIOPELICULA

C-PELICULA DE AGUA

FIG. 5.1 REACTOR DE PELICULA BIOLÓGICA, COMPARACIÓN DE LA FORMA DE LA BIOPELICULA

## 5.2 DATOS HISTORICOS

En el año de 1900, Weigand (ref. 40), en Alemania, fué el primero en concebir este sistema. Su patente describe al contactor como un cilindro consistente de láminas de madera. A pesar de existir desde 1900, la idea no fue retomada sino hasta la década de los treinta, en que Bach e Imhoff (ref. 24), hicieron pruebas con la idea de Weigand. Estas unidades sufrieron serios problemas de taponamiento en láminas y no hubo después más investigación con este equipo.

En E.U.A., Allen (ref. 2), reporto la invención de la "rueda biológica" de Maltby en 1929. Esta rueda consistía de una serie de ruedas de paletas que rotaban. En el mismo año Allen reporto resultados de un equipo que utilizaba discos rotatorios metálicos. No hubo más desarrollo en Europa hasta finales de la década de los 50, cuando primero Hartmann (ref. 23) y después Poepel, en la universidad de Stuttgart, condujeron pruebas extensivas en discos de plástico de 1 m. de diámetro.

Casi al mismo tiempo, empezó a utilizarse el poliestireno expandido como material, barato de construcción. Los trabajos de Hartmann y Poepel junto con el nuevo material, dieron como resultado un nuevo proceso comercial para el tratamiento de las aguas de desecho.

En 1957, la compañía de J. Conrad Stengelin, en Tuttlingen R.F.A., empezó a fabricar discos de poliestireno expandido de 2 a 3 m. de diámetro para plantas de tratamiento de aguas. La primera instalación comercial entro en operación en 1960 y el uso del proceso fue aceptado rápidamente en Europa, por su simplicidad y su bajo consumo de energía.

En la década de los 60, la compañía Allis Chalmers empezó a hacer desarrollos en el proceso, sin existir conocimiento de los trabajos previos. El proceso emergió como consecuencia de aplicaciones de el Contactor para procesos químicos industriales.

Después de conocer las actividades Europeas, la Allis Chambers hizo un convenio comercial con los fabricantes alemanes para la construcción y venta del sistema en E.U.A. el proceso comercial fué llamado "biolisc" en América y Europa, entrando en operación, la primera planta del sistema comercial en América hasta 1960. Las actividades de la Allis Chambers siguieron hasta 1970 sin mucho éxito comercial y para esa época se creó la Autotrol Corporation subsidiaria de la Allis Chambers.

En 1972, la Autotrol anunció el desarrollo de un soporte nuevo construido con placas corrugadas de polietileno. Esto incremento el área superficial de  $52.5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a  $121.4 \text{ m}^2/\text{m}^3$  en el nuevo material. Este nuevo desarrollo se conoce como el proceso "Biosurf".

A raíz de este nuevo proceso el uso comercial del contactor biológico rotatorio aumento en forma constante. En 1976 ya existían en E.U.A. y Canada más de 80 instalaciones, 15 con capacidad mayor a  $3800 \text{ m}^3/\text{día}$ , 2 con capacidad de  $113,000 \text{ m}^3/\text{día}$  para efluentes de la industria del papel y 1 de  $204,000 \text{ m}^3/\text{día}$  para aguas negras.

En Europa existen más de mil instalaciones, principalmente en Alemania, Suiza y Francia, así como en Italia, Austria, Inglaterra y los países escandinavos. La mayoría de las instalaciones dan servicio a poblaciones de menos de 1000 habitantes y existen algunas que dan servicio a poblaciones de más de 10,000 habitantes.

En años recientes, otros fabricantes han empezado a fabricar discos de poliestireno expandido y han sido comercializados como proceso "Biolisc" o proceso de superficie biológica rotatoria (ref. 2, 3).



### **5.3 FACTORES QUE AFECTAN FUNCIONAMIENTO DE LOS CBR's (ref. 13, 37)**

Para el funcionamiento de cualquier sistema es necesario proporcionar los requerimientos mínimos. Para lograr esto, es indispensable tener conocimiento de las variables dependientes e independientes que rigen el proceso, así como conocer los efectos sobre el sistema. Considerando las interrelaciones de la materia, sería muy difícil o imposible listar o estudiar todas las variables que afectan a un proceso.

Esto es, donde el término "extensión de un efecto" llega a ser manejable, significa que las variables son seleccionadas para un estudio con la finalidad determinada. Un área común que puede ser llamada a estudio es el desarrollo de los criterios de diseño para un contactor dado, en el cual tendrá lugar un cierto proceso. De nuevo, a través del conocimiento de las variables y del alcance de sus efectos se llega a alcanzar ese objetivo.

El CBR es un contactor que lleva a cabo el tratamiento biológico de las aguas de desecho. Algunas de las variables que son consideradas de importancia son: temperatura, pH, Alcalinidad, Conductividad, Carga orgánica, Carga Hidráulica, Velocidad rotacional, Espesor de la película, Diámetro de discos y otras más. Se explican a continuación algunos de estos parámetros.

#### **5.3.1 TEMPERATURA**

La temperatura del influente afecta al sistema de varias formas. En general, la baja temperatura, provoca que la viscosidad del líquido aumente y necesite mayor consumo de energía para mover el tren de discos.

Algunos investigadores afirman que las variaciones de temperatura ocurridas dentro del intervalo de 13-32°C no afectan el sistema. Una temperatura por arriba de 32°C ocasionará la aparición de microorganismos menos eficientes. Mientras que una temperatura alta disminuirá la solubilidad del oxígeno y el sistema puede operar bajo condiciones límite de oxígeno. Si el sistema es operado a una temperatura menor de 13°C, el funcionamiento del contactor se verá afectado, a menos que el tiempo de retención sea aumentado por disminución del flujo de entrada.

#### **5.3.2. pH**

Para un funcionamiento adecuado del sistema de contactores biológicos, el rango de pH es de 6.5-8.5, un pH más bajo o más alto puede causar el desprendimiento de los microorganismos de los discos y posteriormente, su arrastre por la corriente del líquido.

Par evitar la variación de pH, el sistema debe ser controlado mediante soluciones amortiguadoras. Usualmente, el agua de desecho de origen doméstico tiene suficiente alcalinidad para resistir los cambios de pH. Una caída de pH en las etapas primarias del biodisco puede ser indicio de condiciones límite de oxígeno, donde los ácidos orgánicos son producidos. Una baja en el pH en las etapas posteriores ocurre por nitrificación.

Teóricamente, el bajo pH puede deberse a la acidez del producto final y a la remoción del amoníaco. Estas dos situaciones son diferenciadas por medición de la magnitud de las variaciones en la alcalinidad.

### 5.3.3. ALCALINIDAD

La alcalinidad del agua de desecho doméstico es cercana a 200 mg/lit de Ca como  $\text{CaCO}_3$ . Esta cantidad es suficiente para mantener una solución amortiguadora en el sistema, en la mayoría de los casos. La alcalinidad previene la variación intensa de pH debida a los procesos químicos y bioquímicos que se realizan en el sistema.

La alcalinidad es muy importante para la nitrificación de las bacterias y además influye en la diversificación de los microorganismos.

### 5.3.4. EFECTO DE LA VELOCIDAD ROTACIONAL

Estudios previos revelan que la rapidez de remoción del sustrato en un sistema CBR es generalmente controlada por la transferencia de oxígeno en las etapas primarias, más que la difusión del sustrato en la biopelícula. Incrementando la velocidad rotacional de los discos aumenta la eficiencia en la transferencia de oxígeno y produce un incremento en la velocidad de utilización del sustrato.

Las condiciones límite de transferencia de oxígeno, pueden detectarse o al menos sospecharse cuando por un incremento de la velocidad rotacional, se logra una mejor remoción de sustrato. Debe reconocerse que un incremento en las rpm proporcionara un mejor mezclado el cual mantiene un gradiente de sustrato muy necesario dentro del sistema.

Se ha encontrado que a velocidades mayores a 18 metros/min no existen mejoras notorias en el proceso. Al aumentar la velocidad de rotación, el contacto entre la biomasa y los substratos, la aireación y mezclado aumentan y puede esperarse una mayor eficiencia, pero el consumo de energía se incrementa más rápidamente que los beneficios derivados del aumento de la velocidad.

No es correcto utilizar la velocidad periférica como base de escalamiento, sino más bien la velocidad de transferencia de oxígeno por unidad de superficie de disco, que es favorecida con el aumento de las rpm. Para propósitos prácticos, el criterio de las rpm para escalamiento, es el correcto.

Tantas más rpm se tengan, la transferencia de oxígeno es mayor, el barrido de la biomasa por el agua de desecho aumenta y la reducción de la DBO también se incrementa. Se tienen velocidades rotacionales recomendadas de 2 a 3 rpm para equipos de tamaño industrial.

### 5.3.5 EFECTOS DE LAS CARGAS ORGANICA E HIDRAULICA

La carga orgánica debe tomarse como parámetro de diseño y no la carga hidráulica. La razón es que en estos diseños se sigue un orden primeramente cinético en remover  $\text{DBO}_5$ , esto significa que una carga hidráulica específica, con cierto porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_5$ , se llevara indistintamente una carga orgánica.

En un proceso aerobio que se requiere de 1 kg de  $\text{O}_2/\text{kg DBO}_5$  para satisfacer la demanda metabólica microbiana, por lo que para tener este sistema aerobio, debe cuidarse la cantidad de  $\text{DBO}_5$  que llega a la primera etapa con relación a la cantidad de oxígeno que es posible transferir en esta.

Se debe tener por etapa, la máxima carga orgánica por unidad de área para tener el máximo de eficiencia y evitar así el área desperdiciada en las ultimas etapas del contactor, si se tuviese la misma área en todas las cámaras del contactor.

La influencia de la carga orgánica hace que sea una de las variables operacionales más importantes en el funcionamiento de los CBR's.

### 5.3.6 NUMERO DE ETAPAS DEL SISTEMA

En el tratamiento de aguas negras se han encontrado mejoras al utilizar 4 etapas en lugar de 2, pero no se han visto mejoras al utilizar más de 4 etapas. También en el tratamiento de residuos líquidos carbonáceos, no se han encontrado mejoras notables en el tratamiento de este efluente industrial, con más de 4 etapas.

El uso de más etapas en lugar de menos, tiene un efecto estabilizador en la consistencia de la calidad del agua tratada, ya que tiene más capacidad amortiguadora para variaciones en las aguas a tratar, lo que da como efecto el hacer mínimas las desviaciones del promedio de calidad de tratamiento.

Evidentemente, los resultados que han sido llevados, han demostrado que el contactor de biodiscos, en estudio debería de estar compuesto por un máximo de 4 etapas, además de que este número de etapas coincide por el recomendado por el Journal of Water Pollution Control Federation. Pero no se realizó así, para poder comprobar las investigaciones realizadas se construyó el contactor con 8 etapas (4 etapas más para un efecto estabilizador).

### 5.3.7 TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA

Se ha encontrado que si se tiene más tiempo de contacto entre el efluente y la biopelícula presente sobre los discos, se da más tiempo para la transferencia de la materia orgánica y del oxígeno disuelto a través de la película. Aquí también hay un valor limitante, que es el económico, ya que entre mayor sea el tiempo de residencia, menor será el volumen de aguas tratadas por unidad de tiempo, lo cual hace que la operación sea poco práctica.

En el CBR no existe la necesidad de recirculación del agua tratada ni de la biomasa, lo que hace al sistema sencillo en su operación. El uso de motores eléctricos y reductores estándar, así como sistemas de transmisión sencillos de bajas velocidades rotacionales hacen que los requerimientos de mantenimiento sean bajos. Por lo sencillo del sistema no se requiere de gente especializada para la operación de la planta.

Su diseño compacto le da ventaja sobre otros diseños tradicionales, sobre todo en consumo energético (el sistema de lodos activados requiere de 8-11 HP/1000 m<sup>3</sup>/d, mientras que para el CBR se requieren de 2.65 HP/1000 m<sup>3</sup>/d), además resultan ideales para lugares o plantas que procesan volúmenes entre 4,000 y 75,000 m<sup>3</sup>/d.

En el CBR la biomasa, pasa a través del agua de desecho y no el agua sobre la biomasa, evitando así que haya taponamiento.

En el proceso del CBR puede tenerse también el efecto alcanzado por el sistema de lodos activados, ya que en el CBR existen microorganismos en suspensión en el licor mezclado, que produce eficiencias altas de tratamiento y un efluente claro. Sin embargo, la diferencia con los lodos activados es que en el CBR, el 95% de los sólidos biológicos están fijos al medio de soporte, lo que hace al proceso diferente del otro en los siguientes puntos:

#### 1) Estabilidad del proceso

El proceso de lodos activados depende de la cantidad de lodos recirculados para una buena operación. Cuando existen sobrecargas hidráulicas, pueden perderse lodos en los clarificadores secundarios, lo que afecta al sistema. También, las variaciones en carga orgánica pueden provocar pérdidas en el clarificador, al existir aglutinación de los lodos. El CBR, no es perturbado por las variaciones de las cargas hidráulicas ni orgánicas, debido a que la mayor parte de los organismos activos, están fijos al medio de soporte.

## 2)Flexibilidad

El CBR no tiene problemas si recibe cargas hidráulicas inferiores a la de diseño o de carga cero. Por lo contrario, al darse tiempos de retención más grandes, se tienen mayores eficiencias en tratamiento y al no haber alimentación puede recircularse el agua que sale del contactor para mantener la biomasa activa viva. En las plantas de lodos activados estas situaciones causarían serios disturbios en el sistema.

## 3)Mantenimiento y consumo de energía

El CBR requiere mantenimiento y cantidad de energía mucho más bajas que el de lodos activados, lo que hace más atractivo este sistema.

## 4)Facilidad de Nitrificación

En el CBR se puede lograr la nitrificación a cualquier nivel, en una etapa sencilla de tratamiento, esto no es posible en el proceso de lodos activados, en donde se requieren dos etapas de proceso, con sistemas de aireación, sedimentación y de recirculación de lodos para cada etapa.

## 5)Características del lodo

La alta densidad y baja concentración de los sólidos del licor mezclado del CBR, permite sobrediseños en los sedimentadores para sobrecargas hidráulicas en el sistema, sin problemas en la compresión de los lodos. Esto no sería posible en el proceso de lodos activados, en los que además debe preverse el manejo de cantidades suficientes de lodos en los clarificadores para su recirculación.

Además, en el proceso del CBR pueden diseñarse los clarificadores para cualquier nivel de tratamiento sin que existan problemas en la sedimentación de los lodos. También, debido a que los lodos del CBR se espesan hasta altas concentraciones en el clarificador secundario, puede disminuirse o eliminarse las facilidades para el espesamiento de los lodos.

#### 5.4 ETAPAS DE UN CULTIVO MICROBIANO DISCONTINUO

Los procesos biológicos de tipo discontinuo son encontrados comúnmente en sistemas a nivel laboratoric, a nivel industrial y también en tratamiento de aguas. Se caracterizan por el cambio en las propiedades de una mezcla inicial de sustrato en solución y microorganismos colocados en un recipiente capaz de conservar condiciones de agitación, temperatura y concentración de oxígeno, en caso de microorganismos de tipo aerobio a lo larga del tiempo.

La curva típica obtenida al graficar la concentración de microorganismos en función del tiempo, se muestra en la figura 5.3. (ref. 38).

Inicialmente la población microbiana permanece constante durante un intervalo de tiempo conocido como período de retardo, durante el cual los microorganismos se acostumbran a las condiciones ambientales. Después del período de retardo, que puede prolongarse hasta por varias horas, los microorganismos comienzan a crecer y a multiplicarse durante una etapa de aceleración.

Durante esta segunda etapa, la gran cantidad de productos intermediarios involucrados en la cadena de reacciones metabólicas, alcanza una concentración estacionaria.

Una vez que los microorganismos se han aclimatado al medio se multiplican rápidamente de acuerdo a una cinética de primer orden con respecto a la concentración de estos:

$$dx/dt = Kx$$

donde: x = peso de células en base seca/volumen

K = velocidad específica de crecimiento, tiempo<sup>-1</sup>

t = tiempo

Puesto que al integrar la ecuación anterior se obtiene una expresión logarítmica, a esta etapa de crecimiento se le conoce como etapa logarítmica.

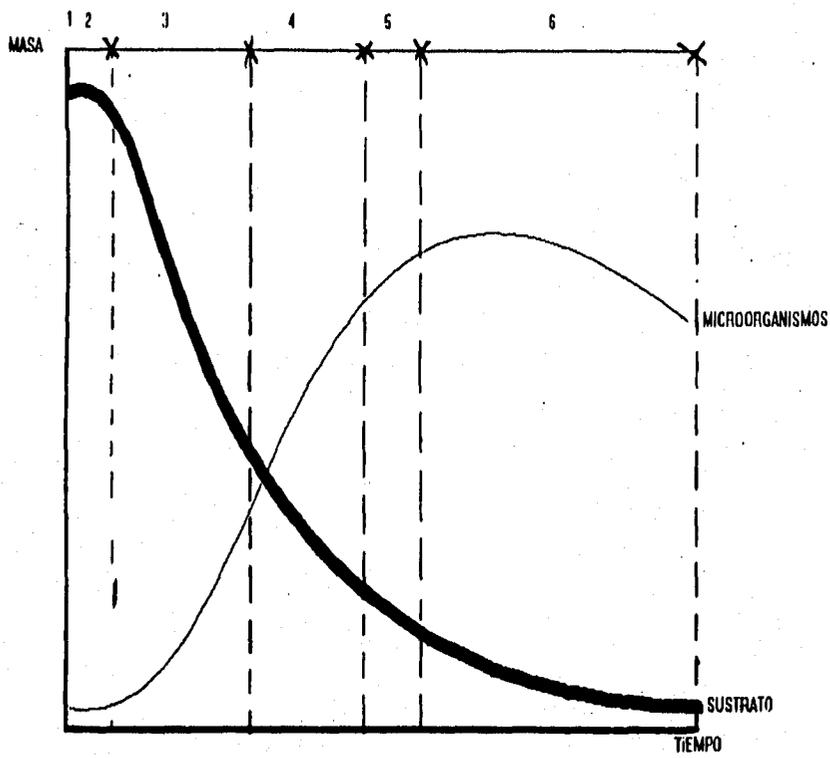
Durante esta fase existe una relación alta de alimento a microorganismos y una fracción muy alta de microorganismos vivos. Eventualmente el alimento es consumido hasta un punto en el cual existe una gran cantidad de microorganismos y una cantidad de alimento insuficiente para sostener la misma velocidad de crecimiento en la etapa logarítmica.

Durante esta etapa de declinación en el crecimiento, la concentración de nutrientes esenciales desciende y se acumulan toxinas como ácidos o alcoholes. Mientras que la concentración de alimento va limitando el proceso, la rapidez o velocidad de muerte de microorganismos se incrementa hasta que se alcanza la etapa estacionaria en la cual la velocidad de muerte, de microorganismos casi alcanza a la velocidad de síntesis de estos.

Eventualmente la fuente de alimento disminuye de manera tal, como para originar que la velocidad de muerte rebase a la de síntesis y se de un decremento en la concentración de células vivas. Durante esta etapa, conocida como etapa endógena, las células utilizan la energía almacenada en forma de ATP para sus funciones vitales, hasta que disminuye su contenido de ATP y las células mueren.

En un proceso continuo tal como el proceso de lodos activados, el de filtros percoladores o el de biodiscos (CBR), dado que los microorganismos se encuentran aclimatados y existe una relación de alimento a microorganismos generalmente alta, la etapa predominante es la de crecimiento logarítmico con la expresión cinética correspondiente. Para el caso del sistema de lodos activados por razones económicas se acostumbra operar en la etapa estacionaria de crecimiento. (ref. 38).

FIGURA 5.3 ETAPAS DE UN CULTIVO DISCONTINUO



- |                         |                           |                      |
|-------------------------|---------------------------|----------------------|
| 1.-PERIODO DE RETARDO   | 2.-PERIODO DE ACELERACIÓN | 3.-ETAPA LOGARITMICA |
| 4.-ETAPA DE DECLINACIÓN | 5.-ETAPA ESTACIONARIA     | 6.-ETAPA ENDOGENA    |

## 5.5 LOCALIZACIÓN DEL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO DENTRO DE LA CLASIFICACIÓN DE REACTORES

Cada etapa del CBR opera como un reactor continuo de tanque agitado y en general, se considera como de mezclado perfecto. La representación gráfica del CBR se muestra en la figura 5.4.

Para un reactor continuo de mezclado perfecto, la concentración de sustrato en el recipiente ("S") es la misma que en el efluente. De esta manera, el influente al entrar al reactor se dispersa inmediatamente en el medio de menor concentración.

La forma como actúa la película biológica activa adherida a los discos es muy similar a la forma en que se efectúa la catálisis heterogénea en lecho fijo, los nutrientes y el oxígeno penetran al interior de la película por difusión, fenómeno similar al que ocurre en un catalizador poroso, y al llegar a las células a lo largo del espesor de esta, las células vivas actúan de manera semejante a los sitios activos de un catalizador poroso.

De esta manera puede esperarse que la operación de un CBR se vea limitada por los procesos de difusión, ya sea de sustrato o de oxígeno al interior de la biopelícula, dependiendo de la concentración de sustrato en la masa del líquido en que se encuentran sumergidos los discos.

La línea divisoria entre los procesos limitados por la transferencia de oxígeno y por la transferencia de sustrato se haya en el intervalo de 300-500 mg DQO/l. Para una concentración de sustrato por debajo de este intervalo se encuentra por lo general limitado por la transferencia de sustrato. Para concentraciones por arriba de este intervalo, generalmente no es capaz de difundirse la cantidad suficiente de oxígeno dentro de la biopelícula y por lo tanto, el sistema se encontrará limitado por la transferencia de oxígeno. (ref. 38).

Los microorganismos que se encuentran en suspensión en forma de biomasa, efectúan también sus funciones metabólicas y por lo tanto, también consumen sustrato. El consumo debido a estos podrá ser despreciado con respecto al consumo realizado por los microorganismos de la biopelícula, sólo si la masa total de microorganismos en suspensión es mucho menor que la masa total de la biopelícula.

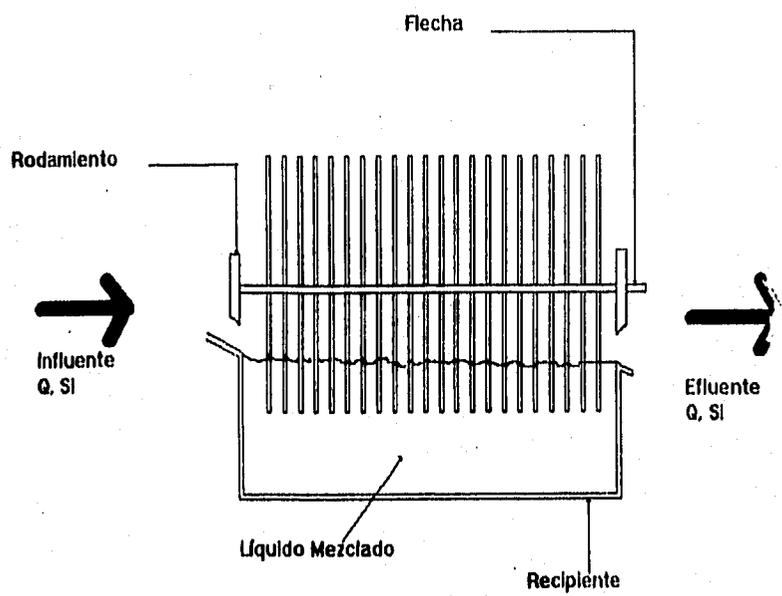


Figura 5.4 Diagrama esquemático de una etapa de un R.O.C.

## **6.0 FACTORES QUE INFLUYEN EN REUSO DE AGUAS RESIDUALES**

Existen muchos factores que independientes o en combinación, influyen en la cantidad y calidad de agua necesaria para el desarrollo de las plantas, estos factores varían con la región y también de un año a otro, unos son debidos al factor humano y otros a la naturaleza, ambos se relacionan íntimamente con las características de desarrollo, crecimiento y rendimiento de los cultivos.

El factor humano ejerce su influencia con los métodos de cultivo en todos sus aspectos, con los sistemas y métodos de riego, con la construcción y operación y etc.

Los factores naturales más importantes son el tipo de suelo, clima y el tipo de cultivo. De los cuales se mencionaran los aspectos más importantes relacionados con la utilización de aguas residuales con el riego agrícola. (ref. 29).

### **6.1 EL SUELO**

Quando se aplican aguas residuales, crudas o pretratadas, a suelos y cultivos con fines de irrigación, debe tenerse presente que se esta realizando una aportación de diversos materiales, orgánicos, nutrientes, metales pesados, sales disueltas y microorganismos. Aunque la mayoría de estos componentes forman parte de los suelos y son esenciales para el desarrollo de los cultivos, existen limitaciones en cuanto a la proporción de su presencia.

A medida que el agua se transporta por las plantas y el perfil del suelo, se remueve la mayoría de las sustancias que contiene, sin embargo, es posible que estas sustancias produzcan efectos en los suelos, los cultivos, en aguas receptoras, en los consumidores y en los trabajadores agrícolas.

El tipo y el grado de afectación estarán en función de la tolerancia de los cultivos a través de sus diversas etapas de desarrollo, del tipo de suelo, del clima, de la profundidad del manto acuífero, de las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual aplicada.

### **6.2 EL CLIMA**

El clima es un concepto geográfico que representa toda la variedad de fenómenos meteorológicos específicos de una determinada región. Los numerosos factores que forman el clima están sujetos a fluctuaciones individuales, a saber: temperatura, precipitación pluvial, presión atmosférica, radiación solar y los vientos.

Existe indudablemente una relación entre el clima y las características de flora y fauna de cualquier población, por lo que es recomendable determinar experimentalmente en cada localidad, los parámetros que forman el clima. Estos estudios son necesarios para cualquier proyecto de irrigación tanto de aguas superficiales blancas como de aguas residuales crudas o pretratadas.

### **6.3 CULTIVO**

A partir de los estudios de los recursos hidráulicos existentes (cantidad y calidad de agua disponible), complementando con los estudios de suelo y climatología, es posible determinar los cultivos más susceptibles de establecerse en el área de proyecto.

Entre los productos que se cultivan en los campos experimentales de la FES-C campo 4, están: avena, trigo, maíz, sorgo, lechuga, betabel y otras hortalizas.

#### 6.4 SALINIZACION DE SUELOS

Como ya se ha mencionado, existe una acumulación de sales en el suelo que en un momento dado trae como consecuencia efectos nocivos. El efecto nocivo de las sales (sodio, calcio, magnesio, carbonatos, cloruros, boro, etc.), se deben por un lado a que producen incrementos en la presión osmótica de la solución del suelo que está en contacto con las raíces de las plantas y por lo tanto se reduce la cantidad de agua que pueden absorber las raíces, por otro lado, compiten por los sitios de intercambio iónico, con las partículas de suelo, desplazando a otros compuestos esenciales.

Para el desarrollo de los cultivos. Lo anterior se traduce como un abatimiento del agua disponible como de los nutrientes de la rizósfera, lo que ocasiona disminución en el rendimiento de los cultivos o pérdida total de las cosechas.

Si realizamos un balance de agua y substratos en una porción del suelo cultivado bajo riego con aguas residuales, tendríamos, que parte del agua suministrada se pierde por evapotranspiración, otra parte se retiene en la parte del suelo, otra es absorbida por las plantas y el resto se infiltra hacia los mantos subterráneos o se drena hacia las corrientes superficiales.

En cuanto a los substratos (materia orgánica, nutrientes, sales disueltas, metales pesados, etc.), parte de ellos son asimilados por el suelo y los cultivos, (esto dependerá del tipo de suelo y cultivo), otra parte se infiltrará hacia mantos subterráneos por lixiviación, otra parte más es arrastrada por corrientes superficiales, el resto se acumula en el cuerpo del suelo.

La magnitud en que el suelo puede retener o asimilar las sales, esta íntimamente relacionada con su capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), la cual proporciona una medida de la reactividad química del suelo y depende de su contenido de arcilla, materia orgánica, óxido de hierro e hidruro de aluminio. Los principales cationes que intervienen en este proceso son: calcio, magnesio, potasio, aluminio, hidrógeno, amonio, hierro y zinc. (ref. 18).

De todas las reacciones de intercambio catiónico que se realizan en el suelo es de importancia especial, la de el intercambio del sodio por el calcio, cuando las aguas residuales que se aplican a los suelos poseen cantidades considerables de sodio en solución, éste se acumula en el suelo y cuando alcanza concentraciones elevadas en relación con los cationes disueltos, ya sea por la acumulación del sodio o por la precipitación del calcio y del magnesio, sustituye a estos en el intercambio, produciendo un desequilibrio electrónico en las micelas del suelo en las que deja cargas negativas residuales, que hacen que las partículas se repelan y en consecuencia, el suelo se deflúca y pierde su estructura, disminuyendo su permeabilidad al aire y al agua, y se favorece la formación de costras, todo lo cual afecta o impide el desarrollo normal de los cultivos.

Se ha desarrollado un concepto que permite establecer un criterio sobre el contenido de sales en el suelo, esta es la razón de salinación, definido como la relación de la concentración de sales en el suelo y la concentración de sales en el agua de irrigación.

## 7.0 CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUA DE REUSO EN ACTIVIDADES AGRICOLAS

Con objeto de proteger la salud del hombre y el ambiente por los efectos ocasionados por el inadecuado reuso del agua, muchos países del mundo han establecido normas de calidad y niveles máximos a los que los contaminantes presentes en el agua se deban de encontrar para reutilizar aguas en diferentes usos. Así la utilización de aguas residuales crudas o pretratadas se presenta como una alternativa de reuso en actividades de irrigación agrícola.

En realidad no pueden existir normas de calidad de agua para riego como un concepto separado, los criterios o normas tienen que definirse tomando en cuenta: el suelo, el clima, tipo de cultivo y el tipo de irrigación; como ya se ha mencionado en el apartado anterior.

En virtud de que las aguas residuales contienen diversos contaminantes, entre los que se encuentran los químicos (principalmente sales disueltas, compuestos orgánicos y metales pesados) y los biológicos (organismos patógenos); es importante evaluar los efectos contaminantes en el suelo, cultivo y finalmente en el hombre.

A continuación se presenta la evaluación de los parámetros más comunes e importantes desde el punto de vista de irrigación agrícola de aguas de reuso, incluye:

- Salinidad
- Sodio
- Nitrógeno
- Fósforo
- Calcio
- Magnesio
- Acidez y Alcalinidad
- DBO
- DQO
- Sólidos en todas sus formas
- Oxígeno disuelto

### 7.1 SALINIDAD

La salinidad de las aguas residuales es debida a la presencia de sales minerales que se encuentran disueltas en forma iónica. Unos cuantos de esos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones disueltos. Estos iones son fundamentales y sobre ellos descansará la mayor parte de los aspectos químicos e hidrogeoquímicos, estos iones fundamentales son: (ref. 36)

ANIONES	CATIONES
Cloruros $Cl^-$	Sodio $Na^+$
Sulfato $SO_4^{2-}$	Calcio $Ca^{++}$
Bicarbonato $HCO_3^-$	Magnesio $Mg^{++}$

El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades más pequeñas que las anteriores, se encuentran habitualmente formando menos del 1% del contenido iónico total.

Si bien las aguas residuales pueden contener cantidades elevadas de elementos menores, o incluso de los que generalmente están como trazas y constituir verdaderos minerales de esas sustancias; pero muchas veces siguen siendo una pequeña porción del contenido total en el que generalmente dominan los iones cloro, sodio y calcio.

El incremento de las sales en las aguas residuales es debida al uso doméstico, al uso industrial y por la adición de agua muy mineralizada procedente de pozos y aguas subterráneas.

El contenido de sales en un cuerpo de agua puede evaluarse determinando la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT), en el cual se obtiene de la diferencia de sólidos totales (ST) y los sólidos suspendidos totales (SST):

$$\text{SDT} = \text{ST} - \text{SST}$$

La medida de la conductividad eléctrica (CE) también es un parámetro que se relaciona directamente con el contenido de sólidos disueltos y por ende con las sales disueltas.

Para aguas residuales domésticas tenemos una correlación empírica:

$$\text{SDT (ppm)} = (0.55-0.9) \text{ CE (micromhos/cm)}$$

En las aguas residuales domésticas :  $100 < \text{SDT} < 400$  (ppm)  
En residuos industriales varía considerablemente.

Para aguas de irrigación agrícola, se han establecido clasificaciones según el contenido de sales, tipo de cultivo, tipo de suelo y peligro de salinidad. La siguiente clasificación se basa en estos conceptos y se relaciona con la figura 7.1. (ref.12).

#### C-1 Agua de baja salinidad

Conductividad entre 100 y 250 micromhos/cm, a 25°C que corresponde aproximadamente a 64-160 mg/lit. de sólidos disueltos. Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de que desarrolle salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra normalmente con el riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

#### C-2 Agua de salinidad media

Conductividad entre 250 y 750 micromhos/cm, a 25°C que corresponde aproximadamente a 160-480 mg/lit. de sólidos disueltos. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad. Se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales.

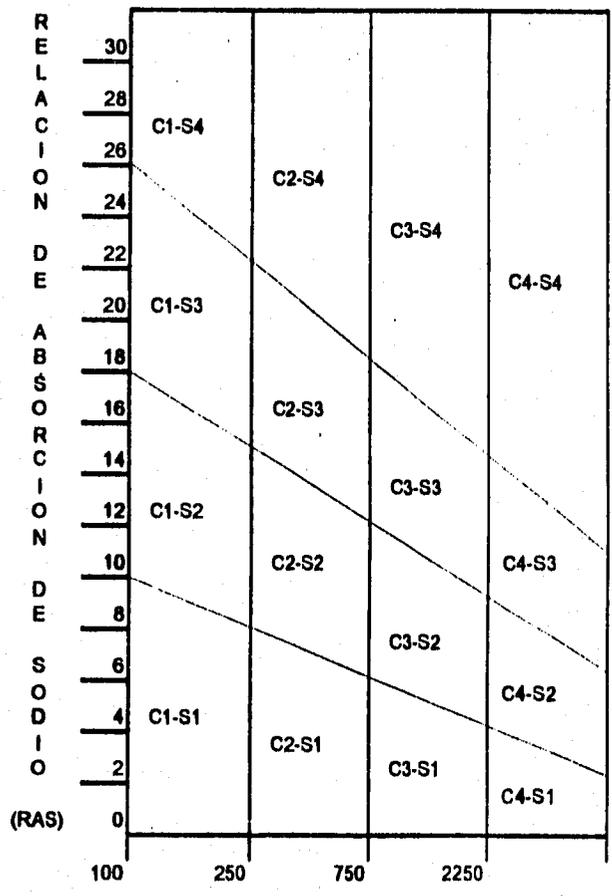
#### C-3 Agua altamente salina

Conductividad entre 750 y 2250 micromhos/cm, a 25°C que corresponde aproximadamente a 480-1440 mg/lit. de sólidos disueltos. No puede utilizarse en suelos de drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.

#### C-4 Agua muy altamente salina

Conductividad superior a los 2250 micromhos/cm, a 25°C aproximadamente 1440 mg/lit. de sólidos disueltos. No es apropiada en condiciones ordinarias para el riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.

En cuanto a la tolerancia de los cultivos a las sales, aunque éstas les afectan fisiológicamente, raramente presentan síntomas evidentes de los daños excepto bajo extrema salinización. Las plantas afectadas por sales, generalmente parecen normales, aunque las especies leñosas son una excepción; En ellas la salinidad les ocasiona quemaduras en las hojas, negrosis y defoliación.



CONDUCTIVIDAD mmhos/cm a 25C

1	2	3	4
Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Peligro de Salinización del suelo

FIGURA 7.1 CONDUCTIVIDAD vs. RAS

## 7.2 SODIO

Los efectos adversos que puede ocasionar el sodio en cultivos, depende de las concentraciones relativas de los iones sodio, calcio y magnesio. Para evaluar la cantidad de sodio intercambiable (Intercambio catiónico), se define el concepto razón de Absorción de Sodio (RAS).

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}$$

Todos en meq/lit.

Existe una clasificación de las aguas de irrigación propuesta por la U.S. Salinity Laboratory Staff. Esta clasificación se basa en las siguientes características: (ref 12)

- 1) La concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica a 25°C.
- 2) La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio, (RAS).

En la figura 7.1 puede apreciarse las 16 categorías del agua, establecidas al relacionar la conductividad, el RAS y el peligro de alcalinización del suelo.

Según el contenido de sodio se tiene la siguiente clasificación:

### S-1 Agua baja en sodio

Con un RAS = 0-10 puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

### S-2 Agua media en sodio

Con un RAS = 10-18 puede representar un peligro en condiciones de lavado deficiente, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico, si no contiene yeso.

### S-3 Agua alta en sodio

Con un RAS = 18-26 en la mayoría de los suelos puede alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable, por lo que es preciso un buen drenaje, lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.

### S-4 Agua muy alta en sodio

Con RAS = 26 en general inadecuada para riego excepto con salinidades bajas o medianas siempre que se pueda posibilitar su empleo con la disolución de calcio del suelo, el uso de yeso o de otros elementos.

## 7.3 CALCIO

El calcio es el componente principal de la dureza en el agua y generalmente se encuentra en el rango de 5-500 mg/l, como CaCO<sub>3</sub>, (2-200 mg/l como calcio). (ref. 31). Como ya se ha mencionado el calcio y magnesio son capaces de precipitar en forma de carbonato de calcio y magnesio. Por lo que la dureza es un factor importante en la determinación de los criterios de calidad en agua de irrigación.

#### 7.4 MAGNESIO

La dureza de magnesio de un agua es por lo general, aproximadamente 1/3 de la dureza total, siendo las 2/3 partes restantes la dureza del calcio. El magnesio varía en forma típica entre 10-50 mg/l. Aproximadamente 40-200 mg/l como  $\text{CaCO}_3$ .

#### 7.5 ACIDEZ Y ALCALINIDAD

El concepto acidez en agua puede ser interpretada como la capacidad que tiene el agua para neutralizar una base.

La alcalinidad puede interpretarse de manera inversa, como la capacidad que tiene un agua para neutralizar un ácido.

La interpretación común de acidez o alcalinidad de una solución es referida a la escala de pH; así, si  $\text{pH} < 7$  la solución es ácida; si  $\text{pH} > 7$  la solución es alcalina.

En la química del agua no se toma como referencia el pH 7. Se toma como referencia los puntos de equivalencia del bicarbonato ( $\text{pH}=8.3$ ) y el punto de referencia del ácido carbónico ( $\text{pH}=4.5$ ).

De tal forma que tenemos 2 tipos de alcalinidad:

- 1) Alcalinidad a la fenolftaleína
- 2) Alcalinidad al verde de bromocresol

La clasificación considera que toda la alcalinidad se debe a los iones de carbonato, bicarbonato e hidróxido; suponiendo la ausencia de otros ácidos débiles de composición orgánica e inorgánica como: silicio, fosfórico y bórico.

#### 7.6 NITROGENO

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

El nitrógeno presente en el agua residual reciente, se encuentra principalmente en la forma de urea y materia proteica. La edad del agua residual viene indicada por la cantidad relativa de amoníaco presente.

En ambiente aerobio, las bacterias pueden oxidar el nitrógeno del amoníaco a nitratos y nitritos. El predominio del nitrógeno del nitrato indica que el agua residual se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. La muerte y descomposición de las proteínas animales y vegetales por las bacterias producen nuevo amoníaco.

En el tratamiento de aguas residuales es necesario saber el contenido de nitrógeno para valorar la tratabilidad de éstas aguas mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente se necesitará para hacer tratable el agua residual. Cuando se requiere el control de crecimiento de algas en cuerpos receptores, es conveniente la eliminación o reducción de nitrógeno en las aguas residuales antes del vertido.

En aguas residuales que se utilicen para la irrigación no debe existir cantidades de nitrógeno tales que provoquen una hiperfertilización.

Los compuestos de nitrógeno se pueden eliminar de las aguas residuales por proceso de tratamiento químico, físico y biológico, de los cuales el biológico es uno de los más económicos.

El proceso más significativo para la remoción del amoníaco a nitritos y nitratos es la "nitrificación". La nitrificación suministra la fuente de energía para las bacterias nitrificantes aeróbicas y autotróficas. Los nitritos y nitratos, producidos por nitrificación o presentes en las aguas residuales originales, se pueden eliminar por reducción microbiológica a nitrógeno gaseoso. Este proceso se conoce por "desnitrificación" y ocurre en condiciones anóxicas, donde ciertos microorganismos utilizan los nitritos y nitratos como fuente optativa de oxígeno.

### **7.7 FOSFORO**

El fósforo también es un nutriente esencial para el crecimiento de algas, plantas y demás organismos biológicos.

El fósforo presente en las aguas residuales como diversas formas de fosfatos, entre ellas ortofosfatos, polifosfatos, metafosfatos y fosfatos orgánicos; provienen del uso extendido de detergentes fosfatados, los escurrimientos agrícolas, desechos industriales y de los fosfatos de origen natural.

Para aguas residuales domésticas, el contenido de fosfatos totales varía desde 6 hasta 20 mg/l. En aguas residuales de origen industrial su contenido es variable ya que son ampliamente utilizados como ablandadores en el acondicionamiento de agua para procesos industriales.

En aguas destinadas para irrigación no deben existir cantidades tales que provoquen un hiperfertilización.

### **7.8 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)**

El análisis del contenido orgánico de un agua residual es esencial para evaluar su grado de contaminación y el impacto ambiental que ocasiona su descarga en cuerpos receptores. El número y variedad de compuestos, así como sus concentraciones son la dificultad para cuantificarlos específicamente por lo que se han desarrollado pruebas indirectas no específicas, tales como: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Carbón orgánico total que proporcionan un índice de la cantidad de materia orgánica presente.

El parámetro indicador de contaminación más utilizada y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días ( $DBO_5$ ), la cual cuantifica la cantidad de oxígeno disuelto usado por los microorganismos en oxidación bioquímica de la materia orgánica. La DBO es el único parámetro que provee una diferenciación entre la cantidad de materia orgánica biodegradable y no biodegradable; derivándose de este hecho su importancia.

La determinación de la  $DBO_5$  es una prueba empírica en la cual se han estandarizado los procedimientos de laboratorio para obtener resultados reproducibles. Se ha aceptado 5 días y una temperatura de 20°C como condiciones estándar de incubación.

### **7.9 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO**

La demanda química de oxígeno (DQO), se determinó con la finalidad de conocer el contenido de materia orgánica total, biodegradable y no biodegradable. En esta prueba el equivalente de oxígeno a materia orgánica oxidable es medido mediante la utilización de un oxidante fuerte (dicromato de potasio) en un medio ácido (ácido sulfúrico), altas temperaturas y en presencia de un catalizador (sulfato de plata).

#### **7.10 SÓLIDOS EN TODAS SUS FORMAS**

El contenido de sólidos totales de un agua residual puede clasificarse en dos grandes grupos: sólidos orgánicos e inorgánicos, que a su vez pueden estar suspendidos o disueltos. De tal manera en un agua residual doméstica, aproximadamente un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos disueltos son de naturaleza orgánica.

Las materias en suspensión ejercen una demanda bioquímica de oxígeno, que para aguas residuales domésticas es aproximadamente de un 55 a 60% de la DBO<sub>5</sub> total.

En la irrigación agrícola con aguas residuales, el contenido de materia en suspensión tiene los mismos efectos que la materia orgánica con respecto a la permeabilidad del suelo.

#### **7.11 OXÍGENO DISUELTO**

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno, expresada como concentración de oxígeno molecular que se encuentra disuelto en una solución acuosa. Su valor arriba de 2 mg O<sub>2</sub>/lt asegura el desarrollo de los microorganismos aerobios.

## 8.0 DISEÑO EXPERIMENTAL

### 8.1 CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO

Al igual que toda la Ingeniería Química, el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales, se basa en criterios que han surgido de la práctica y la experimentación. Las ecuaciones existentes son empíricas y desarrolladas a través del análisis de datos experimentales.

En particular, para los contactores biológicos rotatorios, existen algunos criterios de diseño los cuales no están dados en forma definitiva por tratarse de un proceso en donde los fenómenos de la microbiología y de la bioquímica no han podido ser entendidos ni explicados a profundidad.

Así pues, todos los parámetros de diseño de los CBR's han surgido y han sido seleccionados de acuerdo a experiencias previas, obtenidos en procesos similares. Por ejemplo, después de un análisis exhaustivo de los datos experimentales obtenidos en diferentes sistemas de contactores, la revista Journal of Water Pollution Control Federation recomienda algunos valores para ser tomados como criterios de selección para aguas residuales de tipo doméstico e industrial. (tabla 8.1)

Tabla 8.1 Criterios de diseño para los Contactores Biológicos Rotatorios (según la revista JWPCF)

No. máximo de etapas	4
Área superficial	140
Relación Área/Volumen	0.005 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> para un influente con DBO <sub>5</sub> arriba de 300 ppm
Conce. residual	0.5 a 0.15 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> para alcanzar un efluente con DBO <sub>5</sub> de 15 a 30 ppm
Temperatura	13 a 32°C
Flujo del líquido de procesamiento	0.2 a 0.6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> para el efluente
Relación para transferencia de sólidos	contactores mecánicos para sólidos

El Contactor empleado se diseñó y construyó basándose en la experiencia previa tenida por otros investigadores.

Con esta información se diseñó el CBR para que tuviera una relación Área/Volumen de 0.005 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> y dado que se deseaba un volumen de trabajo de 40 litros y 8 cámaras o etapas, se estableció un diámetro de los discos de 30 cm.

Una vez conocidas las características básicas de diseño se eligió el material para su construcción tomando en cuenta su resistencia, disponibilidad y manejo. El material elegido para los discos fue acrílico con fibra de vidrio, mientras que el material usado para el recipiente del agua residual (contactor) fue lámina galvanizada.

Nuestros parámetros de control fueron: La DBO, DQO, Nitrógeno total, Fosfatos totales, Temperatura, Oxígeno Disuelto, pH, flujo hidráulico

### 8.2 CONSTRUCCION DE EL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO

El CBR se construyó en forma de un cilindro hueco horizontal, con el fin de evitar espacios en donde ocurriera acumulación de biomasa y ocurra anaerobiosis en el sistema.

La base del contactor, se subdividió en 8 cámaras de igual tamaño, y a su vez en 2 contactores (cada uno con 4 cámaras), esto debido a que se tenía pensado instalar un grupo motorreductor, como sistema de transmisión en cada contactor, para conferirles velocidades diferentes.

Una velocidad alta para el contactor #1, ya que este recibe la mayor carga orgánica y por ende necesita más requerimiento de oxígeno los microorganismos, que realizan la remoción de materia biodegradable. Mientras que en el contactor #2, se pensaba instalar el grupo motorreductor, con una velocidad más baja que el #1, ya que la remoción de materia orgánica es menor.

La finalidad de instalar más etapas, fué para confirmar lo establecido en la Literatura (más etapas confieren una estabilidad en la consistencia en la calidad del agua tratada).

Este arreglo en serie no funcionó, ya que no se tenían los suficientes recursos para colocar un grupo motorreductor a cada contactor como "relevo", debido a que como funcionan las 24 horas del día tienden a sufrir deterioro en sus partes. Por lo que se colocaron en un arreglo en paralelo, como se muestra en la Figura 8.1, para contar con un sistema de transmisión de relevo. Los dos contactores están unidos por medio de mangueras.

Cada cámara esta separada por mamparas, de lámina galvanizada, las cámaras quedaron intercomunicadas mediante un par de ranuras laterales localizadas en la parte superior extrema de cada mampara. Estas ranuras permiten el paso de líquido hacia la siguiente cámara, cuando está ha llegado al nivel máximo de capacidad, recibiendo como influente al efluente de la cámara anterior. Una vez que el líquido en tratamiento ha pasado por las 8 cámaras, es recolectado en el sedimentador secundario de 30 litros de capacidad.

Para evitar el retromezclado entre cámaras y favorecer el tratamiento secuencial del líquido suministrado, se acopló el CBR a un soporte metálico que le confiere una inclinación negativa de 5° aproximadamente (esto se logró con unas maderas).

Cada cámara tiene una capacidad de aproximadamente 5 litros, cuenta con 5 discos de acrílico con fibra de vidrio de 0.3 metros de diámetro montados en una flecha de acero inoxidable de ½ pulgada roscada; para garantizar que los discos se mantengan fijos sobre el eje, se requirieron de tuercas y rondanas también de acero inoxidable. Estas últimas sirvieron para dos propósitos:

- Fijación de los discos sobre el eje.
- Separación entre los discos dada por el grosor mismo de la tuerca y rondana

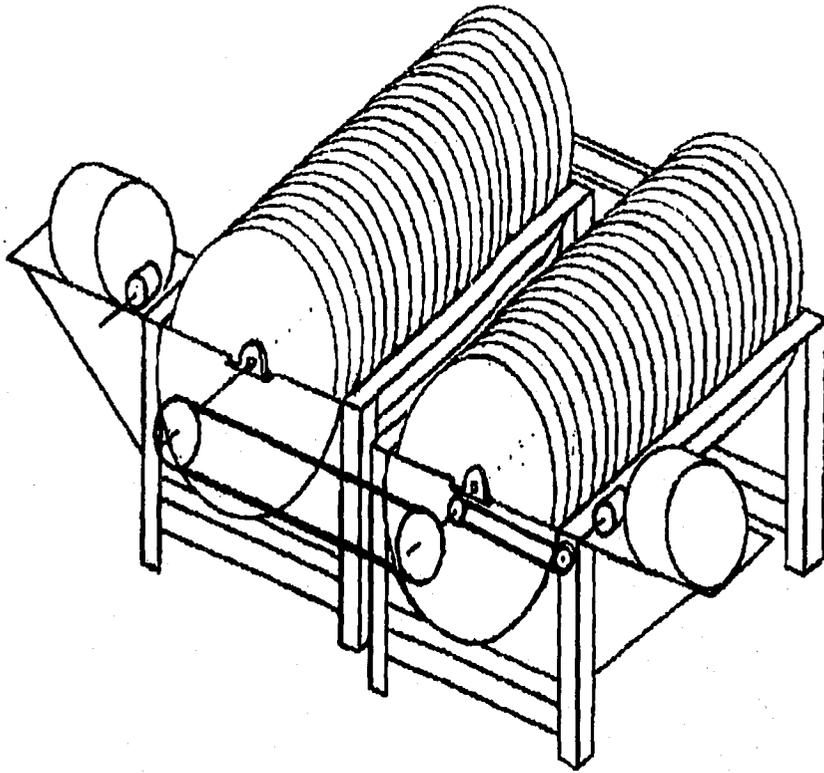
El sistema de transmisión es un grupo motorreductor, cuyo motor es de ¼ de HP, 120 volts, corriente alterna y 1760 rpm, mientras que el reductor consistía de un tornillo sinfín y un engrane, el cual tiene una relación de reducción de 1/30.

Para desarrollar distintas velocidades de rotación se utilizó un juego de poleas, obteniéndose un rango de velocidades de 12 a 40 rpm.

El conjunto de discos-eje-elementos de sujeción, están montados en chumaceras SKF de ½ pulgada.

Dado que el sistema funciona ininterrumpidamente, requiere que el sistema de chumaceras, sistemas de rotación (motorreductor, poleas), operen con eficiencia, para esto se estableció un calendario de mantenimiento periódico, cuidadoso y eficaz.

En la figura 8.1 se muestra el CBR de 40 litros, mientras que en la tabla 8.2 se presentan las diferentes partes que lo componen.



**FIGURA 8.1** Contactor Biológico Rotatorio ( RBC-40 )  
Arreglo en paralelo.

Tabla 8.2 Partes y especificaciones del CBR experimental

Equipo	Cantidad
Chumaceras	4
Discos	40
Tuercas	48
Rondanas	80
Mamparas	6
Motores	2
Reductores	2
Rehales	2
Poles	4
Base	2
Manguera	2
Estructura	2
Abracadere	4
Controlador	1
Bomba	1

En la tabla 8.3, se describen las características físicas del CBR.

Tabla 8.3 Características del CBR

Módulo del disco	Acrílico con fibra de vidrio
Número de discos	8
Número de discos (cámaras)	5
Número de discos (discos)	40
Espesor del disco (m)	0.004
Área superficial (m <sup>2</sup> )	6.805
Área de contacto (m <sup>2</sup> )	0.006
Área de contacto (discos) (m <sup>2</sup> )	0.04
Área de contacto (discos) (discos) (m <sup>2</sup> )	0.00688
Área de contacto (discos) (discos) (discos) (m <sup>2</sup> )	0.30

### 8.3 ARRANQUE DEL CBR CON EFLUENTES PROVENIENTES DEL INTERCEPTOR PONIENTE

Como se dijo al principio, el problema de reducir la contaminación que se produce en las fabricas que descargan sus efluentes al canal Interceptor Poniente, es uno de los más arduos con el que se tiene que enfrentar la sociedad. Dado que el CBR, constituye un equipo rentable por su eficiencia en la purificación de efluentes de tipo carbonáceo, empleando un CBR a escala de Laboratorio (40 litros de volúmen de trabajo), con el fin de evaluar su comportamiento.

Se tomó como agua residual de estudio, la proveniente del Interceptor Poniente. Primeramente se realizó una caracterización de estas aguas, ver Tabla 8.4. (ref.45).

Tabla 8.4 Caracterización de Aguas residuales del Interceptor Poniente. (ref. 45)

Parámetro	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo
Temperatura (°C)	18.1	20	21.8
Sólidos Totales (ppm)	905	1184	1303
Sólidos Volátiles (ppm)	251	340	509
Sólidos Inorgánicos (ppm)	58	130	318
Sólidos Volátiles (ppm)	20	50	178
Conductividad (microsiemens)	844	1062	1320
Alcalinidad (ppm)	244	325	406
Acidez (ppm)	1.9	3.3	5.7
Cloruro (ppm)	20	26	48
SO <sub>4</sub> (ppm)	152	228	288
NO <sub>3</sub> (ppm)	276	419	560
Amo (mg/l)	6.8	20	97.4
Nitrógeno (mg/l)	4.8	14	93.28
Soda (mg/l)	7.0	22.5	439
RAS (mg/l)	0.5	5.5	7.88
Clasificación	C-3,S-1	C-3,S-1	C-3,S-1
pH	7.2	7.5	7.7

La alimentación al contactor se realizaba en forma continua, mediante una bomba peristáltica modelo Master Flex 7016-20, mientras que las aguas tratadas se recibían en el sedimentador secundario, colocado a un lado de la última etapa del contactor.

#### 8.4 CONDICIONES DE OPERACION

Para estudiar las condiciones de operación más adecuadas se hicieron corridas preelminares. La primera serie de corridas preelminares, incluyó el estudio de velocidad óptima (la que garantizará concentraciones de oxígeno disuelto en las cámaras por arriba de 2 mg/lt).

Se probaron varios valores de velocidad rotacional, quedando finalmente establecido el tren de discos en 26 rpm que fué la que permita una buena agitación en las cámaras y se tenían valores de oxígeno disuelto mayores a 2 mg/lt.

Para el tiempo de residencia se probaron dos: Uno de 55.2 horas y otro de 24 horas, con un flujo de 12.5 ml/min y 27.6 ml/min respectivamente. La corrida # 1, a un tiempo de residencia de 55.2 horas ó 2.3 días, fue de el 1 de febrero de 1995 al 30 de junio de 1995 y la corrida # 2, a un tiempo de residencia de 24 horas ó 1 día, fue de el 1 de julio de 1995 al 30 de noviembre de 1995.

La temperatura no se controló, sino que se instaló el contactor en un laboratorio, cuyas condiciones dieron un temperatura en el seno del líquido del contactor de aproximadamente 15°C.

Con los experimentos preelminares, las condiciones de operación reales manejadas en la corrida experimental fueron:

	Corrida # 1	Corrida # 2
	2.3 días	1 día
	14<T<16 °C	14<T<16 °C
	26 rpm	26 rpm

Las características del Influyente fueron diversas importandonos las cargas orgánicas, tanto en época de estiaje y época de lluvia (en ambas corridas estan incluidas estas épocas), siendo estas en promedio:

	Corrida # 1	Corrida # 2
Carga orgánica (DQO)	314.3 mg/lt	293 mg/lt
DQO	820 mg/lt	820 mg/lt
	7.023	7.023

Se alimentó al Contactor con una concentración variable de materia orgánica (medida como DQO), estas variaciones dependieron de las descargas que hacen las diferentes industrias al canal Interceptor Poniente, con el fin de observar el alcance de estado de régimen permanente, se determinó el parametro de DQO cada 4 días y se considero que se tenía un estado estable, cuando las variaciones en el valores de la DQO fueron aproximadamente del ±10%.

A los pocos días de iniciada la operación se empezó a formar la película biológica, sobre la superficie de los discos en las paredes del contactor, en estas en proporción menor. En forma diaria se evaluaron el pH, temperatura y oxígeno disuelto del licor mezclado.

Esto se hizo con el fin de observar, si se tenían condiciones aerobias en las cámaras del contactor y poder observar el momento en que los parámetros fisicoquímicos, no variaran más del 10%, para poder considerar el régimen permanente o estable.

El tiempo de maduración del sistema fué de 6 semanas aproximadamente, despues de las cuales se alcanzó el régimen permanente. Se observo en este sistema, una baja susceptibilidad a trastornos con variaciones de carga orgánica, recuperandose rápidamente.

En la Tabla 8.5, se indican las actividades diarias para el control de los parámetros fisicoquímicos y del mantenimiento del CBR.

Tabla 8.5 Control del sistema (Análisis rutinarios)

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
pH	pH	pH	pH	pH
Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura
O.D.	O.D.	O.D.	O.D.	O.D.
Muestreo	DBO,DQO	Sólidos	DBO, DQO	
NK, Fosfatos	Mant. Motores	Mant. Bomba	Muestreo	Mediciones en CU

El equipo fué construido por los sustentantes de esta tesis y aunque funcionó durante la fase experimental relativamente bien, la calidad del sistema de control no garantiza que la operación sea ininterrumpida. Este es un punto que debe ser analizado para futuros proyectos.

En la Tabla 8.6, se enuncian los métodos de análisis utilizados para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, tanto del efluente como del influente del CBR:

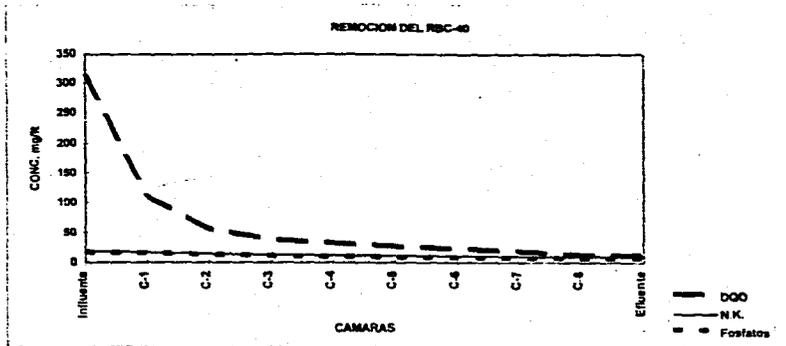
Tabla 8.6 Métodos de análisis

Determinación	Método utilizado
Temperatura	Método 2550 B
pH	Método Potenciométrico
Conductividad	Celda de conductividad 205
Sólidos Totales	Métodos gravimétricos 209 A, C, D, E
Sólidos Volátiles	Método volumétrico 402
Sólidos Fijos	Método volumétrico 403
Amoníaco	Método 424-II
Nitrógeno Total	Método Kjeldahl 417 A, D y 420 A
Demanda Biológica (DBO)	Método espectrofotométrico (600 nm.)
Demanda Química (DQO)	Método de dilución 507
Calcio	Método Winkler, azida modificado 421 A, B
Fosfatos	Método volumétrico
Cloro	Método volumétrico
Fluoruro	Método flamométrico

A continuación se presentan los resultados promedios de las dos corridas experimentales y todos los resultados por orden cronológico aparecen en el apéndice 9.

9.0 RESULTADOS EXPERIMENTALES

TIEMPO DE RESIDENCIA (2.3 DIAS)															
	DOO	N K	Fosfatos	Sol Totales	Sol Tot Vol	Sol Tot Fijon	Sol Surt Tot	Sol Susp Vol	Sol Susp fija	Sol Dis Tot	Sol Dis Vol	Sol Dis fija	Temperatura	pH	O D
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(°C)		(ppm)
Influyente	314.3	18.56	17.3	820	304	516	179.33	92	87.33	590.66	212	428.67	17	7.023	0
C-1	110.06	16.88	15.86	1134.66	814	520.66	380	346	34	754.66	268	486.88	17	7.934	5.7
C-2	55.53	14.25	13.07	675.33	224	451.33	99.33	32.66	66.67	578	191.34	384.88	17	8.381	5.8
C-3	38.46	12.71	11.37	636.66	181.33	455.33	2	2	0	634.66	179.33	455.33	17	8.486	7
C-4	32.26	11.87	9.86	635.33	178.66	456.67	8.66	7.33	1.33	628.67	169.33	457.34	16.5	8.526	6.9
C-5	28.83	11.32	9.15	605.33	164	441.33	7.66	3.66	4	597.67	160.34	437.33	17	8.518	7
C-6	22.83	10.53	8.31										17	8.52	6.8
C-7	18.53	10	7.71										16.5	8.521	6.9
C-8	12.4	9.62	7										17	8.544	6.9
Efluente	11.73	9.45	6.78	585	153.33	431.67	0	0	0	585	153.33	431.67	17	8.543	6.4

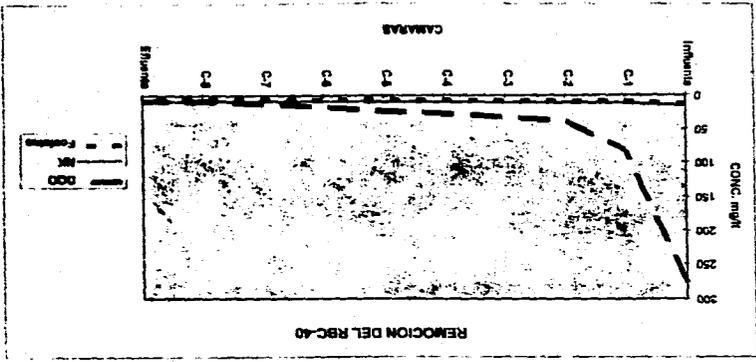


45

	DBO	Dureza Total	D. de Ca	D. de Mg	Conc. de Na	RAS	Alc. al V.B.	Alc. Ferroz	Cond. Esc.
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(mg/l)	(ppm)	(ppm)	(mmhos/cm)
Influyente	241.65	219.82	146.35	73.17	11.11	0.1872	191.75	11.05	720
Efluente	6.1	255.64	170.42	85.21	11.11	0.1735	329.8	19.83	760

9.0 RESULTADOS EXPERIMENTALES

TIEMPO DE RESIDENCIA (T DIA)												
	D30	NK	Fosforos	SA Totales	SA Tot vol	SA Tot fijos	SA susp tot	SA susp vol	SA susp fijos	SA de Tol	SA de vol	SA de fijos
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Influyente	216.2	15.03	13.02	844	287.33	556.67	293.33	133.33	160	550.57	154	396.67
C-1	01.95	11.36	9.14	1164.33	482	702.33	434	257.33	186.67	790.33	224.67	535.86
C-2	37.7	10.3	8.11	552.66	342	210.66	38	28.66	8.34	514.66	201.32	313.34
C-3	32.35	9.86	7.4	540	192	348	29.33	14.66	14.67	510.67	177.34	333.33
C-4	29.7	9.63	7.02	532.66	112.66	400	20.66	12.66	8	512	120	392
C-5	23.6	9.31	6.58	496	92	404	48.66	41.33	7.33	447.34	50.87	396.87
C-6	17.5	3.2	8.34									
C-7	12.8	0.91	6.02									
C-8	8.7	8.71	5.87									
Efluente	8.1	6.5	5.54	460.66	60.66	380	0	0	0	460.66	80.66	380



	D30	Dureza total	D de Ca	D de Mg	Conc de Na	PLAS	Alc. M.V.L.	Alc. Fecult.	Con. Elec.
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(mg/l)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Influyente	164.806	187.28	91.8	75.48	11.11	0.208	222.44	1	370
Efluente	1.45	183.2	81.12	72.06	7.77	0.1478	203.91	17.42	380

10.0 ANALISIS DE RESULTADOS

10.1 MARCO DE REFERENCIA DE CALIDAD DEL AGUA

Normas de calidad y reglamentos relacionados con el agua para riego:

Criterios para clasificación de aguas de irrigación (tablas 10 A-F, de la ref. 30)

Tabla 10 A

Clase	% de Sodio	Conductividad Eléctrica x 10 <sup>3</sup>
De excelente a buena o adecuada para la mayoría de las plantas, bajo la mayoría de las condiciones	< 30 a 60%, la mayoría del trabajo reciente favorece el 60 %	Entre mayor a 500 pero recientemente 1000 ha sido aceptada
Buena a satisfactoria bajo algunas condiciones de tierra, clima y prácticas agrícolas	< 60 a 75%	Entre 500 y 1000
Satisfactoria a buena bajo algunas condiciones de tierra y prácticas agrícolas	> 70 a 75%	Entre 1000 y 1500

Escala de Conductividad eléctrica (mmhos/cm)

Tabla 10 B

Clase	Conductividad Eléctrica (mmho/cm)
Excelente	0-2
Buena	2-4
Satisfactoria	4-8
Pobre	8-16
Deficiente	> 16

**10.0 ANALISIS DE RESULTADOS**

**10.1 MARCO DE REFERENCIA DE CALIDAD DEL AGUA**

Normas de calidad y reglamentos relacionados con el agua para riego:

Criterios para clasificación de aguas de irrigación (tablas 10 A-F, de la ref. 30)

Tabla 10 A

Clase	% de Sodio	Conductividad Eléctrica a 10°
De excelente a buena o adecuada para la mayoría de las plantas, bajo la mayoría de las condiciones	< 30 a 60%, la mayoría del trabajo reciente favorece el 60 %	Límite mayor a 200 pero recomiendo 1000 ha sido aceptada
Buena a satisfactoria bajo condiciones normales de tierra seca y condiciones normales	< 60 a 75%	200-500
Satisfactoria a buena bajo condiciones normales de tierra seca y condiciones normales	> 70 a 75%	500-1000

Escala de Conductividad eléctrica (mmhos/cm)

Tabla 10 B

Clase	Conductividad Eléctrica (mmho/cm)
Excelente	0-2
Buena	2-4
Satisfactoria	4-8
Buena (en suelos salinos)	8-16
Satisfactoria	> 16

Respuesta del Cultivo

Tabla 10 C

Respuesta del cultivo	Sólidos disueltos totales (ppm)	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)
-Agua que no ocasiona efectos perjudiciales notables	5-500	0.75
-Agua que puede ser perjudicial en cultivos sensibles	500-1000	0.75-1.5
-Agua que puede tener efectos diversos sobre varias cosechas, requiere cuidado del suelo	1000-2000	1.5-3.0
-Agua que puede ser usada para plantas tolerantes a las sales, suelo permeable	2000-5000	3.0-7.5

Rangos del RAS en el agua de riego

Tabla 10 D

Categoría	RAS
Muy alta Riego	< 10
	10 a 15
	> 15
Alta de Irrigación	4.0
	8-18

Aguas de riego de acuerdo a la carga orgánica (DBO)

Tabla 10 E

Condiciones	DBO (mg/lit)
-Recomendado para cultivos en momento de irrigación con drenaje pobre del suelo.	10
-Para demás cultivos	500
-Agua utilizada para irrigación (bomba E.I.A.), como máximo	25

Rendimientos encontrados para el sistema de Contactores Biológicos Rotatorios

Tabla 10 F

Propiedad	Rendimiento Teórico (apéndice 8)	Rendimiento Experimental (T.R.=2.3 días)	Rendimiento Experimental (T.R.=1 día)
DDO	70-85%	96.20%	97.07%
DBO	70-97%	97.38%	99.16%
Nitrógeno	30-80%	49.00%	43.45%
Fosfatos	8-30%	80.81%	57.15%

Analizando los resultados obtenidos con los criterios de referencia, tenemos lo siguiente:

La cantidad de materia orgánica medida como DBO, tiene valores muy amplios para su utilización como agua de irrigación, pero creemos que el primer tipo de la tabla 10 E es el adecuado para cultivos con drenaje pobre del suelo, por lo que nuestro efluente se adecua para esta clasificación; además que cumple a la vez con el tercer tipo que es una norma de otro país.

Por último, la tabla 10 F nos da valores de rendimiento que debe cumplir el Contactor Biológico Rotatorio, con diferentes parámetros fisicoquímicos y además rendimientos de los diferentes tiempos de residencia usados; los resultados fueron:

Tiempo de residencia 1 (2.3 días), se obtuvieron eficiencias de remoción para los diferentes parámetros arriba de los establecidos, pero esto conlleva a que se necesiten mayores requerimientos de insumos.

Tiempo de residencia 2 (1 día), aquí las eficiencias aumentaron muy poco, en relación a un tiempo de residencia de 2.3 días, por lo que se comprueba lo establecido en la literatura, el CBR necesita tiempos de residencia cortos para obtener una buena depuración de las aguas residuales alimentadas.

A lo que se refiere a la cantidad tanto de Nitrógeno como de Fosfatos, estos son indispensables para los cultivos como se mencionó anteriormente, por lo que este sistema sirve para eliminar una porción de estos, sirviendo el resto para los requerimientos básicos de las plantas.

Con lo que respecta a un tiempo de residencia de 1 día, para la remoción de materia orgánica medida como DQO, se tuvieron los siguientes porcentajes de remoción cámara por cámara del CBR:

	DQO (ppm)	% de Remoción
Influente	276.2	
Camara 1	181.95	70.33
Camara 2	37.7	16.03
Camara 3	32.35	1.93
Camara 4	26.7	2.05
Camara 5	23.6	1.12
Camara 6	17.5	2.21
Camara 7	12.8	1.7
Camara 8	8.7	1.49
Efluente	8.1	

En cuanto a la remoción de fosfatos y nitrógeno total las eficiencias de cada cámara fueron:

	Fosfatos (ppm)	Nitrógeno (ppm)	% Remoción Fosfatos	% Remoción Nitrógeno
Influente	13.02	15.03		
Camara 1	9.14	11.36	29.81	24.42
Camara 2	8.11	10.3	7.91	7.0
Camara 3	7.4	9.66	5.45	2.98
Camara 4	7.02	9.63	2.92	1.53
Camara 5	6.58	9.31	3.38	2.13
Camara 6	6.34	9.2	1.84	0.73
Camara 7	6.02	8.91	2.46	1.93
Camara 8	5.87	8.71	1.15	1.33
Efluente	5.58	8.5		

Por lo que se puede apreciar, el CBR es eficiente para remover estos parámetros cámara por cámara. En cuanto a DQO, se remueve en forma gradual, hasta la cámara 4, donde se observa un pequeño incremento en la remoción, luego decrece pero finalmente hay una remoción considerable de este parámetro. Por lo que respecta a Nitrógeno y Fosfatos, observamos en ciertas cámaras (5,6) un incremento, en cuanto a la cámara anterior, obteniéndose al final una remoción considerable.

Por otro lado, la remoción de materia orgánica medida como DBO, no se tomó cámara por cámara, debido a que no se contaba con el material suficiente para cada cámara (frascos winkler), por lo que se optó por calcularla solamente para el influente y efluente del CBR, obteniéndose las remociones antes descritas en la tabla 10 F.

Por otra parte a un tiempo de residencia de 2.3 días, para la remoción de materia orgánica medida como DQO, se obtuvieron los siguientes % de remoción cámara por cámara del CBR:

	DQO (ppm)	% de remoción
Influente	314.3	
Camara 1	110.06	64.99
Camara 2	55.53	17.35
Camara 3	38.46	5.43
Camara 4	32.28	1.97
Camara 5	26.83	1.73
Camara 6	22.83	1.27
Camara 7	18.53	1.37
Camara 8	12.4	1.95
Efluente	11.73	

Por lo que respecta a la remoción de fosfatos y nitrógeno totales las eficiencias de cada cámara fueron:

	Fosfatos (ppm)	Nitrogeno (ppm)	% remoción fosfatos	% remoción nitrógeno
Influyente	17.3	18.56		
Camara 1	15.86	18.88	8.33	9.06
Camara 2	13.07	14.25	18.13	14.7
Camara 3	11.37	12.71	9.82	8.29
Camara 4	9.86	11.87	8.73	4.53
Camara 5	9.15	11.32	4.1	2.96
Camara 6	8.31	10.53	4.86	4.26
Camara 7	7.71	10.0	3.47	2.86
Camara 8	7.0	9.82	4.1	2.04
Efluente	6.78	9.45		

Por lo que respecta a la remoción de DQO cámara por cámara, se observa una remoción gradual; En cuanto a la remoción de fosfatos y Nitrógeno totales existen también remociones graduales; En cuanto al porcentaje de nitrógeno y fosfatos a partir de la cámara 5 a la 8, no se observa que sea gradual la remoción, pero se obtienen remociones considerables.

## 11.0 CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PROCESO

Con objeto de proporcionar datos para la futura construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales del Interceptor Poniente, se considero un flujo tal, que sea lo suficiente para reutilizarla como agua de riego en los campos experimentales de la FES-C campo 4.

A continuación se presenta las premisas tomadas para el dimensionamiento de la planta.

### PREMISAS DE OPERACION:

1. Flujo de diseño 544.32 m<sup>3</sup>/día = 6.3 l/seg
2. Flujo de operación 518.40 m<sup>3</sup>/día = 6.0 l/seg
3. Factor de operación 0.8
4. Lugar de ubicación de la planta: campo experimental de la FES-C campo 4

El tiempo de operación a proponer es de aproximadamente 290 días, dando lugar a que el flujo de operación hacia la planta de tratamiento será de 518 m<sup>3</sup>/día y considerando un 5% de sobrediseño del flujo de operación, para sobredimensionar los equipos a considerar se tiene un flujo de diseño de 544.32 m<sup>3</sup>/día.

## 11.1 EQUIPO

El equipo a dimensionar y dar datos para su construcción es el siguiente:

1. Desarenador
2. medidor Parshall
3. Contactor Biológico Rotatorio
4. Filtro rápido de arena

### 11.1.1 DESARENADOR

Es cosa conocida que un desarenador es un tramo corto de canal, donde se retiene el agua el tiempo suficiente y con la velocidad adecuada para que se sedimenten las arenas.

Pero las aguas residuales además de arenas llevan materia orgánica que debe mantenerse en suspensión para que pase a servir de base a la depuración, tierras soporte para mantener la materia celular, producto de la depuración y también grasas y aceites que es preciso reducir a "espumas" flotantes para su evacuación.

La eliminación de arenas evitará el desgaste prematuro de los aparatos que, de otra manera, se produciría por su efecto abrasivo, un desarenador de aguas residuales debe reunir las características de un sedimentador.

Su funcionamiento se basa en un problema vectorial cinético. Es preciso que las partículas arenosas tengan una velocidad absoluta que las lleve en caída hasta el fondo (en donde la velocidad ascensional de las aguas es menor que la velocidad de sedimentación de los sólidos); también que las partículas menores (tierras), y la materia orgánica floten lentamente hacia la salida y por último es necesario un tiempo de retención suficiente, para que las partículas a eliminar lleguen al fondo del desarenador. Para lograr este efecto, debemos dimensionar en forma conveniente el desarenador.

Flujo de diseño = 6.3 l/seg = 0.378 m<sup>3</sup>/min

$$L/h = V_h/V_s ; L = (V_h/V_s) \times h$$

donde:  $V_h$  = Velocidad horizontal crítica de arrastre de la partícula depositada;

$V_s$  = Velocidad de caída de partícula

$h$  = Altura útil dada por la experiencia

$L$  = Longitud del desarenado

De tabla 5.8 de la referencia 46  $V_h = 83$  cm/s para un diámetro de partícula de 0.20 mm

De tabla 5.10 de la referencia 48  $V_s = 29.20$  cm/s para un diámetro de partícula de 0.20 mm  
 $h = 120$  cm

tenemos:

$$L = (83/29.2) \times 120 = 341 \text{ cm} = 3.41 \text{ m}$$

Ancho total:

$$A = K/(H \times L)$$

donde:  $K$  = Capacidad teórica del arenoso en m<sup>3</sup>:  $K = Q \times R$

$H$  = Altura útil en m

$L$  = Longitud útil en m

$Q$  = Flujo de diseño m<sup>3</sup>/min

$R$  = tiempo de retención min (4.2 min para una dimensión de sólidos que pasan de 0.20

mm)

$$K = 0.378 \times 4.2 = 1.5876 \text{ m}^3$$

Ahora:

$$A = 1.5876 / (1.2 \times 3.41) = 0.3879 \text{ m} = 38.79 \text{ cm}$$

### 11.1.2 MEDIDOR PARSHALL

Se usa para la regulación de la velocidad en el desarenador. A continuación se presentan los valores de los elementos que constituyen a dicho medidor, fueron obtenidas de la figura 18.8 de la ref. 6 y en la figura 11.1 se muestran gráficamente

Dimensiones:



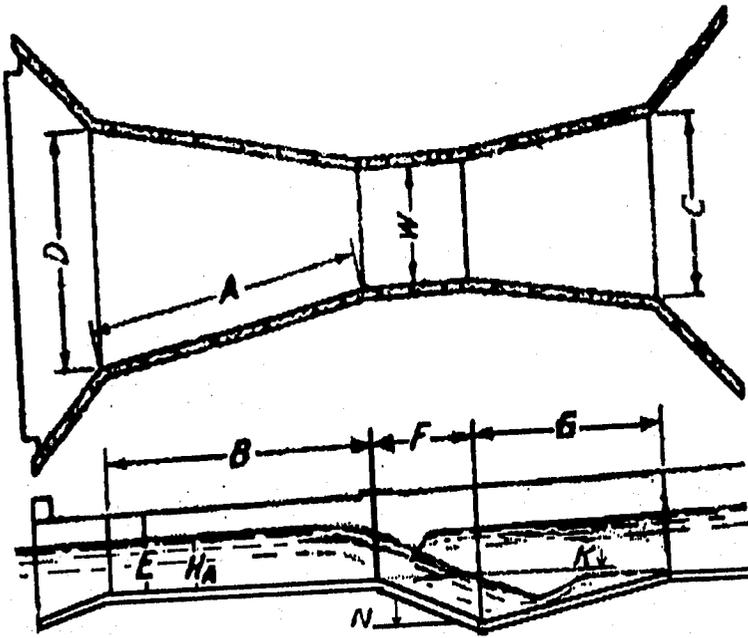


FIGURA 11.1 Dimensiones para el canal medidor Parshall

### 11.1.3. CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO

Esta unidad en el proceso de tratamiento se puede considerar como la más importante y por lo tanto, crítica, ya que un mal dimensionamiento o especificación del Contactor, puede originar un mayor desembolso innecesario. Por tanto se enuncian a continuación las siguientes premisas:

-Tanque  
material: concreto

Dimensiones:  
Area: 72.54 m<sup>2</sup>  
Ancho: 4.66 m  
Profundidad: 2.15 m  
Largo: 8.59 m  
Volumen total: 62.37 m<sup>3</sup>

Estas dimensiones están dadas por el volumen a tratar y un tiempo de residencia de 2.75 horas, el cual se tomó de la referencia 30, como punto de partida para encontrar el tiempo de residencia óptimo para las dimensiones del CBR.

-Discos  
material: polietileno de alta densidad

Dimensiones:  
Diámetro: 3.62 m  
Area: 10,978.652 m<sup>2</sup>

La potencia de el motor eléctrico, será dada hasta el momento en que se determine el número y peso, que conformará a dicho contactor ( el número de discos, dependerá de su diseño y este a su vez depende de el área superficial de contacto).

-Flecha de transmisión  
material: acero A-36

-Gasto de diseño: 6.3 l/seg para DBO de 366.66 mg/lit, que fué nuestro valor más alto en nuestra investigación.(ver apéndice 9)

-Gasto de operación: 6 l/seg (95% de eficiencia).

-Tiempo de retención hidráulica: 2.75 horas (dada por la experiencia de plantas de estas dimensiones)

Calculo del area superficial de contacto del RBC (ref. 22)

$$QS = QS_0 - RcA$$

$$QS + RcA = QS_0$$

$$RcA = QS_0 - QS$$

$$A = \frac{QS_0 - QS}{Rc} \dots \dots \dots (Ec 11.1)$$

donde: Q = flujo en m<sup>3</sup>/dia  
S<sub>0</sub> = concentración del sustrato en la entrada en mg/lit  
S = concentración del sustrato en la salida en mg/lit  
Rc = sustrato específico consumido en g/m<sup>2</sup> ida  
A = Area en m<sup>2</sup>

$Q_{operación} = 6 \text{ l/s}$   
 $Q_{diseño} = 6.3 \text{ l/s} = 544.32 \text{ m}^3/\text{día}$   
 $S_0 = \text{concentración medida en DBO} = 366.66 \text{ mg/l}$   
 $S = \text{concentración medida en DBO} = 4.7157 \text{ mg/l}$

$$Rc = \frac{19.4 \times S}{15.1 + S}$$

$$Rc = \frac{19.4 \times 4.7157}{15.1 + 4.7152} = 4.6163995 \text{ mg/l}$$

$$A = \frac{544.32 \times (366.66 - 4.7157)}{4.6163995} = 43460.91 \text{ m}^2$$

En el cálculo de los biodiscos y biocilindros se emplea el parámetro de la SDBO o DBO soluble, como base de la formación de la película biológica en biodiscos y biocilindros. La DBO no soluble se elimina en el decantador primario y en los floculos formados en el contactor biológico y eliminados en la decantación secundaria. Se considera como (SDBO) la DBO no eliminable por filtración. Normalmente para aguas urbanas, las aguas de entrada tienen una (SDBO) del orden del 35-40 % de la DBO y las aguas decantadas un 50-55 % de la DBO.

$S_0 = (\text{SDBO})_0$ , en entrada  
 $S = (\text{SDBO})_s$ , en salida

$$\begin{aligned}
 \text{DBO}_{\text{in}} &= 366.66 \times 0.4 = 146.664 \text{ ppm} \\
 \text{DBO}_{\text{EF}} &= 4.7157 \times 0.4 = 2.35785 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$A = \frac{544.32 \times (146.664 - 2.35785)}{4.6163995} = 17015.14 \text{ m}^2$$

Area para la primera etapa :

En los procesos por biodiscos o biocilindros convendría establecer 4 fases, colocando módulos diferenciados o tabicados. Es conveniente en consecuencia prever una subdivisión en etapas. A la primera etapa podrá aplicarse una carga específica inferior a  $24.4 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{d}$ . A la segunda etapa podrá aplicarse una carga específica inferior a  $12.4 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{d}$ , teniendo presente que la eliminación durante la primera etapa se puede calcular aproximadamente en el 60 % de la  $(\text{SDBO})_E$ .

$$A_{1\text{Etapa}} = \frac{544.32 \times (146.664) \times 0.6}{4.6163995} = 10375.89 \text{ m}^2$$

Deberá distribuirse lo restante equitativamente en las 3 cámaras siguientes, es decir que las otras cámaras tendrán  $2213.38 \text{ m}^2$  de superficie en los discos cada una.

Para el tratamiento de los lodos de aguas residuales obtenidos de el Contactor, se podrían utilizar los siguientes tratamientos: La Digestión, el espesamiento, la deshidratación, el acondicionamiento térmico, o la incineración de los lodos. Los lodos se pueden evacuar en cualquiera de los estados en que se producen, es decir, como lodos húmedos (tanto crudos como digeridos), torta de filtros,

torta de lodos de lecho de secado, y lodos secados al calor. Los precipitados de Aluminio y Hierro de las plantas de purificación de aguas se pueden descargar en las alcantarillas. Si se van a descargar en corrientes pequeñas, deberán ser tratados en lagunas, de preferencia. Las lagunas son depresiones naturales de terreno o depósitos excavados de tierra y posiblemente provistos de derrames y drenes inferiores. Los precipitados pesados de Calcio y Magnesio de las plantas suavizadoras se pueden deshidratar parcialmente y utilizarse como relleno para tierras bajas. Los lodos húmedos de aguas residuales se pueden bombear a la superficie del suelo y enterrarse.

#### 11.1.4. FILTRO RAPIDO DE ARENA

Un filtro rápido de arena, consiste en una capa de arena u otro medio granular, cuyo espesor oscila entre 45.7 y 76.2 cm., y esta soportada sobre un sistema de desagüe inferior. El filtro puede estar abierto a la atmósfera o ser un tanque a presión. El filtro se limpia por lavado, es decir, se hace pasar un flujo en contracorriente, con un caudal tal que se consiga expandir el medio y arrastrar la suciedad acumulada hacia el canal de recogida del agua de lavado y de aquí hacia la cloaca para un posterior tratamiento y vertido final.

El sistema de desagüe inferior soporta la arena, recoge el agua filtrada y distribuye el agua de lavado. La mayor parte de los filtros utilizan desagües inferiores con aberturas superiores a las del medio; por lo tanto se utiliza una capa de grava tamizada de 15.2 a 45.7 cm. de espesor, con el fin de conseguir una mejor distribución del agua de lavado y evitar la pérdida del medio filtrante al sistema de desagüe inferior.

##### Características:

CAJA FILTRANTE: Se construye lo más bajo posible para disminuir el costo de las paredes de hormigón. Su altura incluye: -altura de desagüe inferior

- altura de grava
- altura de medio filtrante
- altura de trabajo máximo del agua por encima de la arena
- altura de pared libre

-Desagüe inferior: Fondo de filtro Wheeler: Altura 15 cm

-Altura de grava: Consta de 4 capas de grava:

- Capa superior (espesor de 1 a 6 mm) altura 7.6 cm
- tercera capa (espesor de 5 a 10 mm) altura 7.6 cm
- segunda capa (espesor de 10 a 16 mm) altura 7.6 cm
- capa inferior (espesor de 16 a 25 mm) altura 7.6 cm

altura total de grava 30.4 cm

-altura del medio filtrante: 1 capa de arena (espesor de 2.54 a 0.32 cm). altura 30.48 cm

-altura de trabajo máximo del agua por encima de la arena:

expansión 25% (altura de grava y arena =  $30.4 + 30.48 = 60.88$  cm)

expansión =  $60.88 \times 0.25 = 15.22$  cm

factor de seguridad = 15.2 cm

altura total de trabajo máximo del agua por encima de la arena =  $15.22 + 15.2 = 30.42$  cm

-altura de pared libre 7.5 cm

ALTURA CAJA FILTRANTE =  $15 + 30.48 + 30.48 + 30.27 + 7.5 = 113.73$  cm

VELOCIDAD DE AGUA DE RETROLAVADO: 70 cm/min durante 3 de 10 minutos de duración

Los datos de las relaciones Longitud-Anchura más económicos son de 3 a 6, esta relación esta dada por la siguiente formula:

$$K = L / W$$

donde: K = Relación óptima entre longitud y anchura

L = Longitud del filtro

W = Ancho del filtro

por lo que para cumplir con las especificaciones antes mencionadas; la longitud va a ser igual a 9 pies (2.7432 m) y el ancho va a ser igual a 3 pies (0.9144 m); ya que con esto, K = 3.

## 12.0 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en el inicio de este estudio, se construyó un Contactor Biológico Rotatorio para poder depurar las aguas residuales de el Interceptor Poniente, esto se realizó en un tiempo de 5 meses (septiembre de 1994 a Enero de 1995), se realizó el analisis fisicoquímico por un período de 10 meses, comprendido de el 2 de febrero de 1995 a el 30 de noviembre de 1995, cubriendo varias etapas, tanto epocas de lluvia como de estiaje, tanto del Influyente como del efluente del Contactor Biológico Rotatorio, que era alimentado con aguas residuales del canal Interceptor Poniente, así como de proporcionar algunos datos, para la construcción de un desarenador, un medidor Parshall, un Contactor Biológico Rotatorio y un filtro rápido de arena, para depurar una porción de las aguas negras de dicho canal (6.3 l/seg), para utilizarla como agua de riego en actividades agrícolas.

Como resultado de este trabajo teórico experimental se desprenden las siguientes conclusiones:

La calidad del agua del efluente del CBR, instalado en el laboratorio de tratamiento de aguas, demostró contener una cantidad de materia orgánica, medidos como DBO y DQO, menores a los establecidos por las normas. Por lo que es un sistema adecuado para depurar estos parámetros.

Se utilizaron dos tiempos de residencia (2.3 días y 1 día), para corroborar lo establecido en la literatura, la cual indica que el CBR utiliza tiempos de residencia cortos, para lograr una eficiencia que cumpla con las normas establecidas. El CBR tiene la capacidad de depurar 114.55 litros diarios, disminuyendo el tiempo de residencia a 0.35 días, con unas condiciones de entrada y salida, dados por los datos analizados en este proyecto, esto se calculo de la Ec. 11.1, quedando de la siguiente manera:

$$Q = \frac{R_c \times A}{S_o - S}$$

Los valores de cada variable fueron extraídos de la tabla de resultados experimentales, con un tiempo de residencia de 1 día y de la tabla 8.5.

El motivo por el cual no se alimentó tal flujo, fué por que no se disponia de los medios para realizar el muestreo diario.

Por otro lado, como lo indica la literatura se necesitan solo cuatro etapas para efectuar la mayor depuración, lo cual se comprobo durante la experimentación con el CBR, por lo que recomendamos, para la proyección de la planta tratadora de aguas de campo 4 que cumpla esta norma, ya que más etapas implicaría un gasto elevado por una depuración mínima (solo si se quiere depurar materia orgánica, ya que más etapas trae como consecuencia la depuración de componentes nitrogenados, utiles para los cultivos).

Por lo que respecta al área superficial de contacto, representado por la superficie de los discos, esta contará con un diseño que permita un aumento de esta, además de que debe ser un material rugoso e inerte para que en el puedan adherirse los microorganismos. Esto lo logramos en el CBR, haciendo surcos en los discos de fibra de vidrio.

Por otra parte, la velocidad rotacional que deberá emplearse en la planta, deberá ser aquella que permita una concentración mayor de oxígeno disuelto en el licor de 2 mg/lit. En equipos de similar tamaño, se utiliza una velocidad rotacional de 2 a 3 rpm, por lo que será un punto de partida para establecer la velocidad adecuada. Ya que de lo contrario una velocidad mal establecida traería como consecuencia un gasto excesivo de energía.

Refiriendonos a los metales pesados que están presentes en las aguas residuales del canal Interceptor Poniente, estos no se analizaron ya que la literatura reporta que estos inhiben la reducción de la DBO y no permiten el adecuado crecimiento de los microorganismos, además de no contar con el equipo en el laboratorio para dichas determinaciones, por lo que proponemos que se incluyan en futuros proyectos el análisis de dichos metales.

Para evitar el efecto de estos metales, sobre el % de remoción de materia orgánica en el Contactor, proponemos los siguientes puntos:

1. Caracterización de metales pesados, tanto en el Influyente como en el Efluente de el CBR, utilizando la Espectrofotometría de Absorción Atómica.
2. Proponer un método de separación fisicoquímico, para la eliminación de dichos metales, entre los que se encuentran:

- a) Procesos físicos: -Desavaste, por rejillas, filtración mecánica  
-Sedimentación para eliminar los sólidos en suspensión, por su mayor densidad en relación a la del agua  
-Flotación  
-Evaporación  
-Absorción para la eliminación de microcontaminantes como fenol y color
- b) Procesos Químicos: -Floculación  
-Coagulación  
-Neutralización  
-Oxidación  
-Reducción con la utilización de Sulfato de Hierro para eliminar Cromo  
-Intercambio iónico para la eliminación de Zinc, Cobre, Plomo, etc.

Desde el punto de vista técnico es factible alcanzar los valores máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos (no incluido en este trabajo), establecidos por las normas vigentes.

La selección final del proceso de tratamiento secundario aplicable para este fin deberá realizarse a la luz de un análisis técnico y económico, ya que las pruebas de tratabilidad para la remoción de contaminantes, el CBR las aprueba satisfactoriamente.

Recomendamos que este sistema no quede fuera de la proyección de la planta tratadora y que se unen a este otros sistemas (todos activados, filtros percoladores), para lograr así, un agua con características óptimas para diversas actividades.

Lo anterior forma un marco propicio, para la proyección de una planta tratadora de aguas residuales, emprendido por la FES-C, apoyada por los sustentantes e investigadores, empeñados en lograr un medio ambiente adecuado para las siguientes generaciones. Por lo que los sustentantes de este trabajo, esperan haber aportado elementos básicos para dar continuidad al proyecto y para estudios futuros.

El incluir un filtro de arena como el propuesto, nos ayudara para eliminar los sólidos remanentes del proceso, así como para darle un tratamiento de depuración más, Ver tabla del Apéndice 5, la cual nos muestra los rendimientos que se obtienen con los filtros de arena. El agua de el efluente de el CBR y de el Filtro de arena puede utilizarse además de como agua de riego, para agua de servicios.

Entre las limitantes del proceso del CBR son:

- El costo de inversión inicial, ya que el costo de mantenimiento es mucho menor al de otros procesos, por lo cual se vería compensado el gasto.

-Si al proceso no se le incluye uno de remoción de metales pesados (físico o químico) su efluente no incluiría el del uso para riego, por lo tanto disminuiríamos el campo de utilización de las aguas tratadas.

-La factibilidad técnica dependerá de las condiciones a las que se quiera trabajar, por lo que recomendamos que se sigan las indicaciones mencionadas para el diseño y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales proyectada para los campos experimentales de campo 4.

### 13.0 APENDICE

#### CRITERIOS DE SELECCION DE ALTERNATIVAS DE DEPURACION. COMPARACION ENTRE LAS SOLUCIONES

En este apartado se pretende hacer un estudio comparativo entre las diferentes soluciones de depuración en pequeños núcleos y marcar unos criterios de selección de alternativas, que sirva para justificar las soluciones más adecuadas en cada caso concreto de aplicación.

Para establecer unos criterios de selección entre las diferentes alternativas posibles, resulta necesaria la comparación de diferentes aspectos. Se han considerado los siguientes:

- Superficie necesaria
- Simplicidad de construcción
  - .Movimiento de tierras
  - .Obra civil
  - .Equipos
- Mantenimiento y Explotación
  - .Simplicidad de funcionamiento
  - .Necesidad de personal
  - .Duración de control
  - .Frecuencia en el control
- Costos de Construcción
- Costos de Explotación y Mantenimiento
- Rendimientos
  - .DQO
  - .DBO
  - .SS
  - .Nt
  - .Pt
  - .Coliformes
- Estabilidad
  - .Efecto de la temperatura
  - .Turbidez efluente
  - .Variación de caudal y carga
- Impacto Ambiental
  - .Molestia de olores
  - .Molestia de ruidos
  - .Molestia de insectos
  - .Integración con el entorno
  - .Riesgos para la salud
  - .Efectos en el suelo
- Producción de Fangos

En las siguientes tablas estan estos criterios de selección, con valores de acuerdo a su eficiencia.

Apéndice 1 Superficie Necesaria

	Demanda de área (m <sup>2</sup> /hab)
Fosa séptica	0.1-0.5
Tanque Imhoff	0.05-0.1
Zanjas Filtrantes	6-66
Lechos Filtrantes	2-25
Filtros de Arena	1-9
Pozos Filtrantes	1-14
Filtros Verdes	12-110
Lechos de Juncos	2-8
Infiltración Rápida	2-22
Escorrentía Superficial	5-15
Lechos Bacterianos	0.5-0.7
Biodiscos	0.5-0.7
Lechos de Turba	0.6-1.0
Aireación Prolongada	0.2-1.0
Físico-Químico	0.1-0.2
Lagunas Aireadas	1-3
Lagunas Aerobias	4-8
Lagunas Facultativas	2-20
Lagunas Anaerobias	1-3

Apéndice 2 Simplicidad de Construcción

	Mov. de Tierra	Obra Civil	Equipos
Fosa séptica	MS	MS	MS
Tanque Imhoff	C	S	MS
Zanjas Filtrantes	MS	MS	MS
Lechos Filtrantes	MS	MS	MS
Filtros de Arena	S	S	MS
Pozos Filtrantes	MC	S	MS
Filtros Verdes	MS	MS	MS
Lechos de Juncos	MS	MS	MS
Infiltración Rápida	S	MS	MS
Escorrentía Superficial	MS	MS	MS
Lechos Bacterianos	MS	C	C
Biodiscos	MS	C	C
Lechos de Turba	MS	S	MS
Aireación Prolongada	S	MC	MC
Físico-Químico	S	MC	MC
Lagunas Aireadas	C	MS	MS
Lagunas Aerobias	C	MS	MS
Lagunas Facultativas	C	MS	MS
Lagunas Anaerobias	C	MS	MS

MS=Muy Simple, S=Simple, C=Complicado, MC=Muy Complicado

Apéndice 3 Explotación y Mantenimiento

	Simplicidad de Función	Necesidad de Personal	Duración del Control	Frecuencia del Control
Fosa séptica	MS	P	P	PF
Tanque Imhoff	S	P	P	PF
Zanjas Filtrantes	S	P	P	PF
Lechos Filtrantes	S	P	P	PF
Filtros de Arena	N	R	R	PF
Pozos Filtrantes	MS	P	P	PF
Filtros Verdes	MS	P	P	PF
Lechos de Juncos	MS	P	P	PF
Infiltración Rápida	S	P	P	PF
Escorrentía Superficial	N	P	P	PF
Lechos Bacterianos	C	M	M	F
Biódiscos	C	M	M	F
Lechos de Turba	S	R	P	RF
Aireación Prolongada	MC	M	M	MF
Físico-Químico	MC	M	M	MF
Lagunas Aireadas	N	R	R	RF
Lagunas Aerobias	MS	P	P	PF
Lagunas Facultativas	MS	P	P	PF
Lagunas Anaerobias	MS	P	P	PF

N=Normal, PF=Poco Frecuente, RF=Razonablemente Frecuente, F=Frecuente, MF=Muy Frecuente, P=Poco, R=Regular, M=Mucho

Apéndice 4 Costos de Construcción

	100	100-200	201-500	501-1000	1001-2000	2001-5000	5001-10000	> 10000	Val. Medios	Nota
Fosa séptica	100	85	-	-	-	-	-	-	89	8
Tanque Imhoff	100	83	70	-	-	-	-	-	76	8
Zanjas Filtrantes	1400	1100	800	-	-	-	-	-	1031	-
Lechos Filtrantes	2100	1700	1400	-	-	-	-	-	1545	-
Filtros de Arena	2400	1800	1600	1000	990	-	-	-	1663	-
Pozos Filtrantes	1100	1000	900	-	-	-	-	-	945	-
Filtros Verdes	450	-	-	190	180	160	130	100	132	6
Lechos de Juncos	-	250	-	-	-	200	-	100	115	7
Infiltración Rápida	-	-	-	-	16	11	9	8	10	10
Escorrentía Superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lechos Bacterianos	600	540	430	340	300	250	180	150	196	4
Biódiscos	1100	700	360	420	300	260	200	180	216	4
Lechos de Turba	-	-	330	320	200	170	140	120	145	6
Aireación Prolongada	1200	620	500	400	350	300	250	220	261	2
Físico-Químico	-	-	-	-	300	160	120	100	129	6
Lagunas Aireadas	-	-	-	-	310	260	220	150	201	4
Lagunas Aerobias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lagunas Facultativas	-	-	-	160	120	100	70	50	72	8
Lagunas Anaerobias	-	-	-	-	40	35	20	20	24	9

Coste =\$/hab.(1990)

Apéndice 5 Rendimientos

	DQO	DBO	SS	NI	PI	Coliformes Fecales
Fosa séptica	28-56	17-60	48-85	0-57	0-75	10-90
Tanque Imhoff	-	25-60	37-82	-	-	-
Zanjas Filtrantes	65-90	90-98	-	25-99	80-99	-
Lechos Filtrantes	90-93	80-99	50-90	10-90	35-55	-
Filtros de Arena	68-90	80-99	30-99	23-90	20-80	98-99.9
Pozos Filtrantes	-	-	-	-	-	-
Filtros Verdes	75-85	90-99	95-98	85-90	90	99-99
Lechos de Juncos	55-80	60-92	56-95	25-65	20-40	99.99
Infiltración Rápida	60-75	80-99	92-99	25-90	90	99.99.9
Escorrentía Superficial	-	92-96	95	45	30	99.5
Lechos Bacterianos	68-81	60-95	52-90	15-70	5-30	80-90
Biodiscos	70-85	70-97	75-97	30-80	8-30	85
Lechos de Turba	60-75	80-85	85-90	20-70	20-25	99.5
Aireación Prolongada	88-90	85-99	83-99	50-90	15-70	90
Físico-Químico	80-75	50-75	85-90	10-20	85-95	99
Lagunas Aireadas	70-90	60-96	70-9	8-50	25-35	99
Lagunas Aerobias	50	85-85	90	60	10	99-99.9
Lagunas Facultativas	50-85	60-95	49-90	60	10-35	99-99.9
Lagunas Anaerobias	20	50-85	80-80	30	10	99-99.9

Rendimiento = %

Apéndice 8 Estabilidad

	Efec. Temperatura	Turbidez Efluente	Variación Caudal-carga	Total	Nota
Fosa séptica	3	1	2	6	2
Tanque Imhoff	4	1	3	8	3
Zanjas Filtrantes	7	10	10	27	9
Lechos Filtrantes	7	10	10	27	9
Filtros de Arena	3	10	10	28	8
Pozos Filtrantes	8	10	10	28	9
Filtros Verdes	10	3	10	28	8
Lechos de Juncos	5	3	10	18	6
Infiltración Rápida	8	3	10	26	9
Escorrentía Superficial	10	10	10	23	8
Lechos Bacterianos	5	3	5	15	5
Biodiscos	5	5	10	20	7
Lechos de Turba	8	5	5	18	6
Aireación Prolongada	5	5	10	18	6
Físico-Químico	7	3	10	19	6
Lagunas Aireadas	3	2	10	15	5
Lagunas Aerobias	3	2	10	14	5
Lagunas Facultativas	3	1	10	16	5
Lagunas Anaerobias	3	3	10	16	5

Apéndice 7 Impacto Ambiental

	Molestia de Olores	Molestia de Ruidos	Molestia Insectos	Integración Entorno	Riesgos Salud	Efectos en el Suelo
Fosa séptica	PF	PI	PA	B	A	PA
Tanque Imhoff	PF	PI	PA	B	A	PA
Zanjas Filtrantes	PN	PI	PA	N	A	PF
Lechos Filtrantes	PN	PI	PA	N	A	PF
Filtros de Arena	PF	PI	PF	N	Me	PF
Pozos Filtrantes	PI	PI	PA	B	A	PF
Filtros Verdes	PN	PI	PF	B	A	PF
Lechos de Juncos	PA	PI	PN	B	A	PN
Infiltración Rápida	PF	PI	PN	N	A	PF
Escorrentía Superficial	PN	PI	PN	N	A	PF
Lechos Bacterianos	PA	PA	PA	M	Ba	PI
Blodiscos	PA	PI	PI	M	Ba	PI
Lechos de Turba	PN	PI	PN	N	Me	PI
Alreación Prolongada	PA	PF	PI	M	Ba	PI
Físico-Químico	PN	PI	PI	M	Ba	PI
Lagunas Alreadas	PA	PF	PN	N	Me	PN
Lagunas Aerobias	PN	PI	PN	N	Me	PN
Lagunas Facultativas	PN	PI	PN	N	Me	PN
Lagunas Anaerobias	PF	PI	PN	N	A	PN

B=Buena, N=Normal, M=Mala, A=Alto, Me=Medio, Ba=Bajo, PI=Problema Inexistente, PA=Problema Atípico, PN=Problema Normal, PF=Problema Frecuente

Apéndice 8 Producción de Fangos

	Producción de Fango
Fosa séptica	0.9-2.0
Tanque Imhoff	1.5-2.0
Zanjas Filtrantes	-
Lechos Filtrantes	-
Filtros de Arena	-
Pozos Filtrantes	-
Filtros Verdes	-
Lechos de Juncos	-
Infiltración Rápida	-
Escorrentía Superficial	-
Lechos Bacterianos	1-3
Blodiscos	3-4
Lechos de Turba	0.5-1.0
Alreación Prolongada	3-7
Físico-Químico	6-25
Lagunas Alreadas	1-2.5
Lagunas Aerobias	1-2
Lagunas Facultativas	1.2-1.6
Lagunas Anaerobias	0.4-0.7

Producción = 1/m<sup>3</sup>.A.R.

Apendice 9

Resultados de DQO a un tiempo de residencia de 2.3 dias

	7-marzo-1995	15-marzo-1995	23-marzo-1995	1-abril-1995
Influente	382 ppm	468 ppm	250 ppm	345 ppm
C-1	116 ppm	340 ppm	100 ppm	82 ppm
C-2	65 ppm	52 ppm	35 ppm	44 ppm
C-3	40 ppm	51 ppm	33 ppm	25 ppm
C-4	32 ppm	50 ppm	30 ppm	24 ppm
C-5	25 ppm	47 ppm	30 ppm	22.5 ppm
C-6	22.5 ppm	45 ppm	28 ppm	20 ppm
C-7	21 ppm	43 ppm	25 ppm	14 ppm
C-8	16 ppm	30 ppm	16 ppm	10 ppm
Efluente	18 ppm	20 ppm	16 ppm	10 ppm

	9-abril-1995	17-abril-1995	25-abril-1995	2-mayo-1995
Influente	293 ppm	450 ppm	68 ppm	40 ppm
C-1	79 ppm	70 ppm	38 ppm	38 ppm
C-2	59 ppm	29 ppm	23 ppm	27 ppm
C-3	38 ppm	27 ppm	19 ppm	18 ppm
C-4	32 ppm	22 ppm	15 ppm	16 ppm
C-5	27 ppm	20 ppm	14 ppm	13 ppm
C-6	23 ppm	17 ppm	10 ppm	12 ppm
C-7	17 ppm	11 ppm	9 ppm	11 ppm
C-8	10 ppm	9 ppm	5 ppm	8 ppm
Efluente	8 ppm	9 ppm	5 ppm	7 ppm

	11-mayo-1995	20-mayo-1995	28-mayo-1995	6-junio-1995
Influente	380 ppm	319 ppm	292 ppm	374 ppm
C-1	97 ppm	88 ppm	102 ppm	113 ppm
C-2	59 ppm	73 ppm	79 ppm	62 ppm
C-3	49 ppm	59 ppm	61 ppm	56 ppm
C-4	44 ppm	42 ppm	52 ppm	40 ppm
C-5	25 ppm	30 ppm	43 ppm	35 ppm
C-6	13 ppm	25 ppm	37 ppm	31 ppm
C-7	13 ppm	20 ppm	28 ppm	24 ppm
C-8	8 ppm	13 ppm	19 ppm	16 ppm
Efluente	7 ppm	13 ppm	19 ppm	16 ppm

	14-junio-1995	22-junio-1995	30-junio-1995	
Influente	337 ppm	419 ppm	295 ppm	
C-1	120 ppm	165 ppm	103 ppm	
C-2	62 ppm	102 ppm	62 ppm	
C-3	32 ppm	40 ppm	29 ppm	
C-4	23 ppm	37 ppm	25 ppm	
C-5	20 ppm	30 ppm	21 ppm	
C-6	16 ppm	27 ppm	16 ppm	
C-7	11 ppm	21 ppm	10 ppm	
C-8	7 ppm	14 ppm	8 ppm	
Efluente	7 ppm	13 ppm	8 ppm	

Resultados de DQO a un tiempo de residencia de 1 ida

	8-julio-1995	18-julio 1995	24-julio-1995	1-agosto-1995
Influente	317 ppm	317 ppm	270 ppm	235 ppm
C-1	95 ppm	143 ppm	87 ppm	135 ppm
C-2	39 ppm	50 ppm	38 ppm	40 ppm
C-3	31 ppm	39 ppm	33 ppm	29 ppm
C-4	25 ppm	32 ppm	26 ppm	23 ppm
C-5	22 ppm	27 ppm	23 ppm	20 ppm
C-6	17 ppm	19 ppm	15 ppm	16 ppm
C-7	11 ppm	13 ppm	13 ppm	14 ppm
C-8	8 ppm	10 ppm	7 ppm	9 ppm
Efluente	7 ppm	9 ppm	7 ppm	9 ppm

	9-agosto-1995	17-agosto-1995	25-agosto-1995	3-septiembre-95
Influente	300 ppm	336 ppm	409 ppm	127 ppm
C-1	59 ppm	59 ppm	90 ppm	32.5 ppm
C-2	40 ppm	38 ppm	38 ppm	27 ppm
C-3	35 ppm	35 ppm	36 ppm	25 ppm
C-4	31 ppm	29 ppm	27 ppm	23 ppm
C-5	27 ppm	25 ppm	26 ppm	22 ppm
C-6	20 ppm	18 ppm	21 ppm	17 ppm
C-7	18 ppm	12 ppm	18 ppm	12 ppm
C-8	12 ppm	8 ppm	13 ppm	9 ppm
Efluente	10 ppm	8 ppm	11 ppm	9 ppm

	11-septiembre95	25-septiembre95		
Influente	181 ppm	270 ppm		
C-1	62 ppm	67 ppm		
C-2	35 ppm	32 ppm		
C-3	32.5 ppm	28 ppm		
C-4	25 ppm	26 ppm		
C-5	21 ppm	23 ppm		
C-6	17 ppm	15 ppm		
C-7	10 ppm	9 ppm		
C-8	5 ppm	8 ppm		
Efluente	5 ppm	6 ppm		

Resultados de Fosfatos totales a un tiempo de residencia de 2.3 días

	19-abril-1995	28-abril-1995	10-mayo 1995	19-mayo-1995
Influente	18.3 ppm	27.4 ppm	20.2 ppm	24.1 ppm
C-1	16.2 ppm	21.2 ppm	17.3 ppm	20.3 ppm
C-2	17.1 ppm	12.1 ppm	12.4 ppm	16.0 ppm
C-3	15.1 ppm	9.3 ppm	11.8 ppm	12.8 ppm
C-4	13.8 ppm	7.0 ppm	9.1 ppm	9.4 ppm
C-5	13.6 ppm	6.8 ppm	7.8 ppm	7.2 ppm
C-6	12.4 ppm	5.1 ppm	7.5 ppm	5.8 ppm
C-7	10.9 ppm	5.0 ppm	8.2 ppm	4.9 ppm
C-8	10.1 ppm	4.5 ppm	4.1 ppm	4.1 ppm
Efluente	9.8 ppm	4.1 ppm	3.4 ppm	2.3 ppm

	2-junio-1995	9-junio-1995	17-junio-1995	24-junio-1995
Influente	2.1 ppm	19.8 ppm	25.6 ppm	21.1 ppm
C-1	2.3 ppm	13.7 ppm	19.8 ppm	16.1 ppm
C-2	2.2 ppm	11.8 ppm	18.1 ppm	14.9 ppm
C-3	2.8 ppm	9.1 ppm	16.5 ppm	13.8 ppm
C-4	3.0 ppm	7.9 ppm	15.2 ppm	13.5 ppm
C-5	2.9 ppm	7.5 ppm	14.5 ppm	12.9 ppm
C-6	3.4 ppm	7.3 ppm	12.6 ppm	12.4 ppm
C-7	3.6 ppm	7.0 ppm	12.0 ppm	12.1 ppm
C-8	3.8 ppm	6.7 ppm	10.9 ppm	11.8 ppm
Efluente	3.9 ppm	6.4 ppm	9.2 ppm	10.6 ppm

Resultados de fosfatos totales a un tiempo de residencia de 1 día

	8-julio-1995	15-julio-1995	22-julio-1995	29-julio-1995
Influente	11.8 ppm	20.3 ppm	8.3 ppm	18.3 ppm
C-1	7.4 ppm	15.2 ppm	6.1 ppm	11.1 ppm
C-2	7.8 ppm	13.8 ppm	4.9 ppm	8.7 ppm
C-3	8.3 ppm	12.7 ppm	4.2 ppm	6.9 ppm
C-4	8.7 ppm	11.7 ppm	4.0 ppm	6.1 ppm
C-5	9.2 ppm	11.2 ppm	3.4 ppm	4.9 ppm
C-6	9.6 ppm	10.4 ppm	3.4 ppm	3.8 ppm
C-7	9.7 ppm	9.9 ppm	3.1 ppm	3.2 ppm
C-8	10.1 ppm	9.7 ppm	2.9 ppm	3.2 ppm
Efluente	9.8 ppm	9.2 ppm	2.9 ppm	3.0 ppm

	12-agosto-1995	19-agosto-1995	2-septiembre-95	
Influente	10.4 ppm	15.0 ppm	7.1 ppm	
C-1	9.2 ppm	9.6 ppm	5.4 ppm	
C-2	8.5 ppm	7.8 ppm	5.3 ppm	
C-3	7.5 ppm	7.4 ppm	4.8 ppm	
C-4	6.9 ppm	7.3 ppm	4.5 ppm	
C-5	6.5 ppm	6.9 ppm	4.0 ppm	
C-6	6.4 ppm	6.8 ppm	4.0 ppm	
C-7	6.4 ppm	8.1 ppm	3.8 ppm	
C-8	5.8 ppm	5.7 ppm	3.7 ppm	
Efluente	5.3 ppm	5.4 ppm	3.5 ppm	

Resultados de Nitrógeno total a un tiempo de residencia de 2.3 días

	19-abril-1995	28-abril-1995	10-mayo-1995	19-mayo-1995
Influyente	11.3 ppm	8.3 ppm	23.8 ppm	22.1 ppm
C-1	9.9 ppm	8.1 ppm	23.1 ppm	20.8 ppm
C-2	8.7 ppm	7.7 ppm	16.4 ppm	18.7 ppm
C-3	7.0 ppm	7.2 ppm	13.4 ppm	18.2 ppm
C-4	6.8 ppm	5.4 ppm	11.0 ppm	17.0 ppm
C-5	6.1 ppm	5.0 ppm	10.1 ppm	15.1 ppm
C-6	5.7 ppm	3.6 ppm	8.2 ppm	13.6 ppm
C-7	5.4 ppm	3.2 ppm	8.1 ppm	11.8 ppm
C-8	5.3 ppm	2.9 ppm	7.6 ppm	10.1 ppm
Efluente	4.8 ppm	2.9 ppm	7.2 ppm	9.8 ppm

	2-junio-1995	9-junio-1995	17-junio-1995	24-junio-1995
Influyente	1.7 ppm	24.5 ppm	28.2 ppm	28.6 ppm
C-1	2.9 ppm	16.3 ppm	26.4 ppm	27.6 ppm
C-2	2.9 ppm	15.0 ppm	24.3 ppm	20.3 ppm
C-3	3.4 ppm	14.1 ppm	18.4 ppm	20.0 ppm
C-4	4.5 ppm	13.2 ppm	17.8 ppm	19.3 ppm
C-5	5.4 ppm	12.3 ppm	17.5 ppm	19.1 ppm
C-6	6.4 ppm	11.0 ppm	17.2 ppm	18.6 ppm
C-7	6.7 ppm	10.1 ppm	16.9 ppm	17.9 ppm
C-8	7.4 ppm	9.8 ppm	16.1 ppm	17.8 ppm
Efluente	8.2 ppm	8.9 ppm	15.7 ppm	17.1 ppm

Resultados de Nitrógeno total a un tiempo de residencia de 1 día

	8-julio-1995	15-julio-1995	22-julio-1995	12-agosto-1995
Influyente	14.4 ppm	25.5 ppm	9.1 ppm	12.8 ppm
C-1	10.7 ppm	17.2 ppm	7.3 ppm	12.3 ppm
C-2	12.9 ppm	15.7 ppm	5.2 ppm	9.3 ppm
C-3	13.1 ppm	15.4 ppm	4.8 ppm	8.4 ppm
C-4	13.3 ppm	14.9 ppm	4.7 ppm	8.2 ppm
C-5	14.1 ppm	14.4 ppm	3.6 ppm	7.7 ppm
C-6	15.0 ppm	13.5 ppm	3.9 ppm	7.4 ppm
C-7	15.0 ppm	12.9 ppm	3.4 ppm	7.1 ppm
C-8	15.0 ppm	12.1 ppm	3.4 ppm	6.7 ppm
Efluente	14.9 ppm	11.3 ppm	4.2 ppm	6.1 ppm

	19-agosto-1995	2-septiembre-95		
Influyente	17.7 ppm	10.7 ppm		
C-1	12.1 ppm	8.6 ppm		
C-2	10.7 ppm	8.0 ppm		
C-3	9.7 ppm	7.8 ppm		
C-4	9.1 ppm	7.6 ppm		
C-5	8.4 ppm	7.7 ppm		
C-6	8.0 ppm	7.4 ppm		
C-7	7.8 ppm	7.1 ppm		
C-8	7.8 ppm	7.3 ppm		
Efluente	7.5 ppm	7.0 ppm		

Resultados de DBO a un tiempo de residencia de 2.3 días

	30-marzo-1995	8-abril-1995	16-abril-1995	24-abril-1995
Influyente	360 ppm	350 ppm	300 ppm	295 ppm
Efluente	10 ppm	8.57 ppm	15 ppm	10.6 ppm

	2-mayo-1995	10-mayo-1995	18-mayo-1995	26-mayo-1995
Influyente	235 ppm	300 ppm	200 ppm	210 ppm
Efluente	6.33 ppm	6.75 ppm	7.25 ppm	4.66 ppm

	5-junio-1995	13-junio-1995	21-junio-1995	28-junio-1995
Influyente	25 ppm	216 ppm	174 ppm	234.8 ppm
Efluente	3.76 ppm	2.1 ppm	0.7 ppm	0.81 ppm

Resultados de DBO a un tiempo de residencia de 1 día

	5-julio-1995	13-julio-1995	21-julio-1995	29-julio-1995
Influyente	253.5 ppm	94.8 ppm	137 ppm	156 ppm
Efluente	0.17 ppm	0.22 ppm	3.9 ppm	0.76 ppm

	8-agosto-1995	14-agosto-1995	22-agosto-1995	30-agosto-1995
Influyente	72.5 ppm	366.66 ppm	285 ppm	208 ppm
Efluente	0.33 ppm	2.2 ppm	3.38 ppm	1.6 ppm

	8-septiembre-95	17-sept-95		
Influyente	208 ppm	66.66 ppm		
Efluente	2.2 ppm	0.66 ppm		

Resultados de sólidos en todas sus formas (tiempo de residencia de 2.3 días)

Fecha : 20-3-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf.	700	256	444	80	48	32	620	208	412
C1	788	328	460	176	156	20	612	172	440
C2	684	224	460	4	4	0	680	220	460
C3	672	196	476	4	4	0	668	192	476
C4	712	216	496	12	8	4	700	208	492
C5	700	244	456	6	6	0	694	238	456
Ef.	690	200	490	0	0	0	690	200	490

Fecha : 4-4-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf.	600	248	352	24	24	0	276	224	352
C1	2228	1564	664	640	640	0	1578	924	664
C2	864	396	468	0	0	0	864	396	468
C3	684	268	416	0	0	0	684	268	416
C4	636	276	360	16	16	0	620	280	360
C5	620	256	364	4	4	0	616	252	364
EF.	600	200	400	0	0	0	600	200	400

Fecha: 19-4-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	820	244	576	232	60	172	588	184	404
C1	468	228	240	184	184	0	284	44	240
C2	300	112	188	64	64	0	236	48	188
C3	308	152	156	4	4	0	304	148	156
C4	320	172	148	0	0	0	320	172	148
C5	308	120	188	0	0	0	308	120	188
Ef	300	200	100	0	0	0	300	200	100

fecha: 4-5-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	796	300	496	100	68	32	696	232	464
C1	732	200	532	80	72	8	652	128	524
C2	688	160	528	20	20	0	668	140	528
C3	636	52	584	0	0	0	636	52	584
C4	720	140	580	0	0	0	720	140	580
C5	652	64	598	0	0	0	652	64	598
Ef	600	76	524	0	0	0	600	76	524

fecha: 25-5-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	996	380	616	384	204	180	612	178	436
C1	1188	580	588	540	448	92	628	132	496
C2	764	260	504	424	40	384	340	220	120
C3	728	212	516	4	4	0	724	208	516
C4	692	176	516	4	0	4	688	176	512
C5	692	184	508	36	12	24	656	172	484
Ef	692	144	548	0	0	0	692	144	548

fecha: 10-6-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	1008	396	612	256	148	108	752	248	504
C1	1424	784	640	660	578	84	784	208	556
C2	752	192	560	84	68	16	668	124	544
C3	792	208	584	0	0	0	792	208	584
C4	732	80	652	20	20	0	712	60	652
C5	660	116	544	0	0	0	660	116	544
Ef	628	100	528	8	8	0	620	92	528

Resultados de sólidos en todas sus formas a un tiempo de residencia de 1 día

fecha: 7-7-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	652	156	496	40	8	32	612	148	464
C1	708	172	536	8	8	0	700	164	536
C2	688	144	544	4	4	0	648	144	540
C3	816	204	612	0	0	0	816	204	612
C4	816	176	640	0	0	0	816	176	640
C5	700	132	568	144	132	8	556	0	556
Ef	816	148	668	0	0	0	816	148	668

fecha: 21-7-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDF	SDV
Inf	372	4	368	8	4	4	364	364	0
C1	344	16	328	20	8	12	324	316	8
C2	360	32	328	12	0	12	348	316	32
C3	352	52	300	4	0	4	348	396	52
C4	320	40	280	0	0	0	320	280	40
C5	276	0	276	0	0	0	276	276	0
Ef	52	0	52	0	0	0	52	52	0

fecha: 18-8-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	1360	688	692	880	520	360	480	148	332
C1	808	334	464	396	296	100	412	48	364
C2	620	148	472	80	56	24	640	92	448
C3	564	148	416	48	40	8	516	108	406
C4	536	96	440	16	12	4	520	84	436
C5	508	32	476	36	32	4	472	0	472
Ef	328	0	328	0	0	0	328	0	328

fecha: 8-9-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	896	256	640	484	68	396	432	188	244
C1	1424	656	788	664	368	296	760	288	472
C2	412	120	292	12	12	0	400	108	292
C3	416	120	296	8	8	0	408	112	296
C4	392	108	284	8	8	0	384	100	284
C5	412	84	324	0	0	0	412	84	324
Ef	520	124	396	0	0	0	520	124	396

fecha: 29-9-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	1052	484	568	340	178	164	712	308	404
C1	2482	1348	1132	1452	844	588	1048	504	544
C2	672	256	416	92	60	8	580	176	404
C3	616	232	384	24	12	12	592	220	372
C4	656	224	432	16	12	4	640	212	428
C5	668	220	448	4	56	8	604	164	440
Ef	624	168	456	0	0	0	624	168	456

fecha: 20-10-95

	ST	STV	STF	SST	SSV	SSF	SDT	SDV	SDF
Inf	732	156	576	28	24	4	704	132	572
C1	1340	356	984	24	20	4	1316	336	980
C2	624	160	464	28	20	8	596	140	456
C3	476	100	376	92	28	64	384	72	312
C4	544	152	392	84	44	40	460	108	352
C5	412	84	328	48	28	20	364	56	308
Ef	424	64	380	0	0	0	424	44	380

## 14.0 BIBLIOGRAFIA

### Referencias

1. A.A. Friedman, et. al., Effect of disk rotational speed of biological contactor efficiency, Journal W.P.C.F., Vol. 51, No.11, 1979.
2. Allen K., The biology Wheelie-Sewage Disposal Bulletin, City Of New York, No.14, 1929; Sewage Works J., 1(5); 560(1929).
3. Antoine, L., Fixed Biological Surfaces Wasterwater Treatment. The Rotating Biological Contactor. De. CRC Press. Boca Ratón, USA (1976).
4. Atkinson, B. y Foulter H., "The Significance of Microbial Film In Fermenters". En Adv. Biochem.Eng.Eds.Ghoose, T.K.Flecher, y Blakebrough N. pp.221-227.Springer Verlag, Berlin RFA, 1974.
5. Babbit E. Harold, Alcantarillado y tratamiento de aguas negras, Compañía Editorial Continental, S.A., México,DF, 1975.
6. Benefield and Randall, Biological Process Design for Wasterwater Treatment, Ed. Prentice Hall, USA, (1980).
7. Benjes, H.H., Hanbook of Biological Wasterwater Treatment, De. Garland STPM Press, N.Y y Londres, (1980).
8. Bruce A.M., "Percolating Filters". Process Biochem., Vol.4, No. 4 pags.19-23(1969).
9. Camargo O., Salinización e Impermeabilización de los suelos como consecuencia del riego de las aguas servidas, Lima Perú, 1980.
10. Castillo V., Diseño de Tanques Sedimentadores, Tesis de Maestría, Escuela de Ing. ITESM, 1963.
11. Duran de Bazúa C., Treatment of the Influence from the corn milling Industry in México. Tesis Doctoral. Universidad de Karlsruhe RFA., 1983.
12. E. Custodio M.R. Llamas, Hidrología subterránea, Vol. 1 y 2, 2a. Ed., Ed. Omega, España, 1983.
13. Eckenfelder W., Principles of Water Quality Managment, Ed.CBI Publishing Company Inc.1980.
14. Evans L. Francis, Consideration of First-Stage Organic Overloading in Rotating Biological Contactor Design, EPA Design Information Report, JWPCF, Vol. 57 No.11.
15. Fair and Geyer, Ingeniería sanitaria y del agua residual, Ed. Limusa, México, 1984.
16. Famularo J., Muller J. y Mulligan T. "Aplication of Mass Transfer to Rotating Biological Contactors" JWPCF, 50:653-671 (1978).
17. FES-C, Reuso del agua de la FES-C, Informe # 1 clave PCEBNA-020315, México, 1984.
18. Feldman R.G., Neurological manifestation of mercury intoxication, Acta neurológica escandinava, Suplemento 92, 1982
19. Forster C. F., Bioidation. En Treatment of Industrial Influence. Ed.Colely A. G.; Forster C.F. y Stafford D. A. Cap. 5, pp 65-87.Londres Inglaterra, 1977.
20. G. Trulear Michael, et.al., Dinamycs of Biofilm Processes, JWPCF, Vol.54, No.9,1982.
21. Hao O. y Hendricks G. F., Water Sew. Wks., 122(10):70(1975 b).
22. Hernandez Muñoz Aurelio, Depuración de Aguas Residuales, Ed. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Segunda Edición, Madrid España, 1992.
23. Hartmann H., Investigation of the Biological Clarification of Wastewater Using Immersion Drip Filters, Stuttgarter Berchte zur Siedlungawasserwirtschaft. Vol.9; R. Oldenbourg, RFA (1960).
24. Imhoff K., Bio-immersion Filters, Technical Cornunity Papers 29, #1 (1926).
25. Jenkins D., Sewage Treatment. En Biochemistry of Industrial Microorganisms, Eds. Rianbow C. y Rose A.; Cap. 15 pp. 508-536. Academy Press; USA, 1983.
26. Komegay B. H. y Andrews J. F., Kinetics of Fixed Film Biological Reactors, JWPCF;40(11):R460-468 (1968).
27. La Motta E. J., "Internal Diffusion and Reactios in Biological Films", Env. Sci. and Techno.,(1976).
28. Mclcalf and Eddy Inc., Wasterwater Engeniering Treatment Disposal Reuse, Segunda Edición, De. McGraw Hill, N.Y.USA.1979.
29. Moreno Castillo J., Sistemas de riego, suelos y requerimientos de agua, Curso sobre el uso de agua residual pretratada en la Agricultura y piscicultura, Lima Perú, 1986

30. Ochoa R., Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas de C.U., México DF, DEPFI, 1983.
31. OPS/OMS, Guías para la calidad del agua potable, Vol. 1, cap 4, 1a Ed., Ed. Washington, 1984
32. Reynolds T. D., United Operation and Process in Environment Engineering, Ed. Wodsworth Inc., USA 1982.
33. Sanders W. M. III, "Oxygen Utilization By Slimer Organisms in Continuous Culture", West Lafayette, USA (1964).
34. Sanders W. M. III, "Oxygen Utilization By Slimer Organisms in Continuous Culture", Int. J. Air Water Polln., 10:253 (1966).
35. Sheppard T. Power, Acondicionamiento de Aguas para la Industria, Ed. Limusa, México DF, 1979.
36. Snoyink V. L., Jenkins D., Química del agua, 1a. Ed., Cap. 4, México DF, 1987.
37. Steiner BCG. "Take a new Look at the RBS Process", Water and wastewater Eng. pp.:41-46, 103-107; 1979.
38. Sundstrom D. W., Wastewater Treatment, Ed. Prentice Hall, USA 1979.
39. Tomlinson T. G. y Snaddon D.H. M., "Biological Oxidation of Sewage by Fluids of Microorganisms", Int. J. Air Water Polln., 10:865-881 (1966).
40. Wiegand, Ph. Verfahren zur Biologischen Reinigung von Abwassern. Patente Alemana # 135755 (1900).
41. Williams L.I. Water Pollution Control; 78, pp.380-381(1979).
42. Williamson K. y Mac Carter P. L., "A model of Sustrate Utilization by Bacterial Film", JWPCF, 48(1):924-939 (1978).
43. Winkler M. A., Biological Treatment of Wastewater, Ed. Ellis Horwood Limited. 1981.
44. Winkler M. A. Tratamiento Biológico de Aguas De Desecho De. Limusa 1a. De., México DF, 1986.
45. Osorio Ramirez R., Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales del interceptor Poniente, tesis de licenciatura, México 1995.