

- se presentarán a futuro y evaluando la eficiencia que presenta el sistema de biodiscos, así como el costo de inversión y operación.
- b) Proponer el desarrollo de un sistema de tratamiento rentable para edificios similares que no cuenten con la conexión a un sistema de alcantarillado.
  - c) Establecer el protocolo de investigación necesario para la operación de la planta piloto.

## 2. CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS

### 2.1. Historia

El primer contactor biológico rotatorio (CBR) fue desarrollado en Alemania por Weigand en 1900, cuya patente describe un cilindro formado de tablillas de madera. Sin embargo, no se construyeron más unidades hasta la década de 1930 cuando Bach e Imhoff lo probaron como sustituto para el filtro de Emscher. Estas unidades experimentaron severos problemas con obstrucciones en las tablillas, por lo que no siguieron las investigaciones.

En los Estados Unidos se reporta la invención de la *rueda biológica* por Maltby en 1929, que consistía en una serie de ruedas de paletas giratorias. En el mismo año Doman reporta sus ensayos de discos metálicos rotatorios. Esta fue la primera vez que los discos fueron investigados como medios de contacto, pero los resultados no fueron satisfactorios y se dejaron las investigaciones.

En Europa nada había sido desarrollado hasta finales de 1950 cuando primero Hartman y después Popel, en la Universidad de Stuttgart, realizaron pruebas exhaustivas usando discos de plástico de 1.0 m de diámetro. Casi al mismo tiempo el poliestireno expandido se empezó a usar como un material de construcción barato. Con este nuevo material el trabajo desarrollado por Hatman y Popel concluyó en un nuevo proceso de tratamiento de aguas residuales.

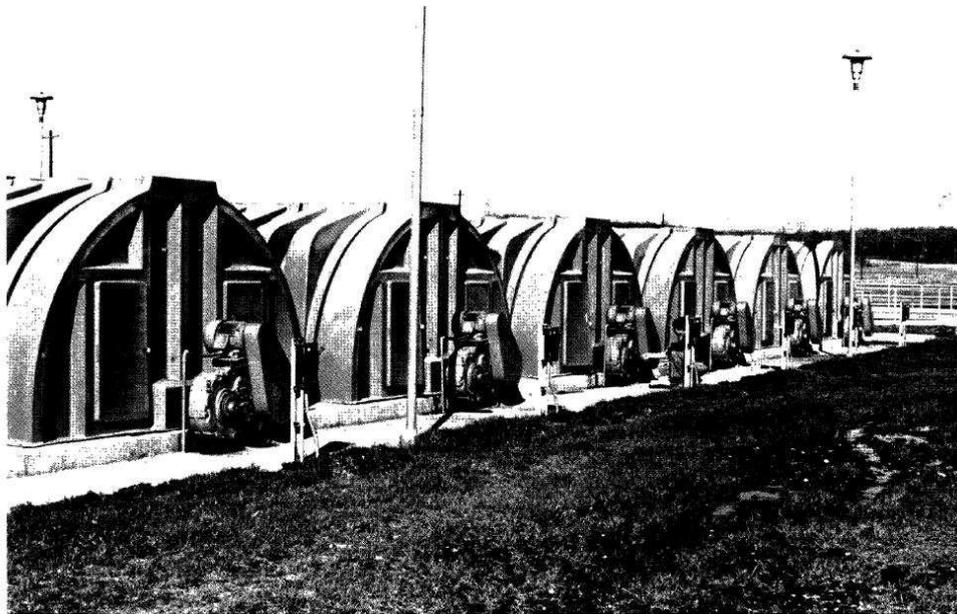


Figura 2-1. Fotografía de las puertas de operación mecánica de un sistema de CBR, Butler County, Ohio.

En 1957, la compañía J. Conrad Stengelin en Tuttlingen, Alemania Occidental, comenzó a fabricar discos de poliestireno expandido de 2 y 3 m de diámetro para el uso en plantas de tratamiento de aguas de desecho. La primera instalación comercial entró en operación en 1960, y su uso se extendió rápidamente en toda Europa por su simplicidad y bajo consumo de energía. Hasta 1980 existían 1000 instalaciones localizadas principalmente al Oeste de Alemania, Suiza y Francia, las demás se encuentran en los países de Italia, Austria, Gran Bretaña y Escandinavia. La mayoría de estas instalaciones son para poblaciones menores a 1000 habitantes, sólo habían unas cuantas instalaciones con capacidad de hasta 10000 habitantes. Aunque ofrece gran simplicidad en su operación y bajos consumos de energía, el sistema de discos de poliestireno ha sido restringido a pequeñas instalaciones debido a los altos costos de construcción en comparación con el proceso de lodos activados.

El trabajo de desarrollo del proceso de discos rotatorios comenzó en Estados Unidos por Allis Chalmers a mediados de la década de los 60's. Esto fue hecho sin el conocimiento del trabajo anterior y fue consecuencia de trabajos de investigación que pensaban aplicarse en procesos químicos. Más tarde, conociendo los trabajos realizados en Europa, la compañía Allis-Chalmers obtuvo una licencia para la manufactura y distribución del nuevo proceso en los Estados Unidos. El proceso de tratamiento se comercializó en Estados Unidos y Europa con el nombre de biodisco. La primera

instalación comercial entró en operación en Estados Unidos para una pequeña fábrica de queso en 1969.

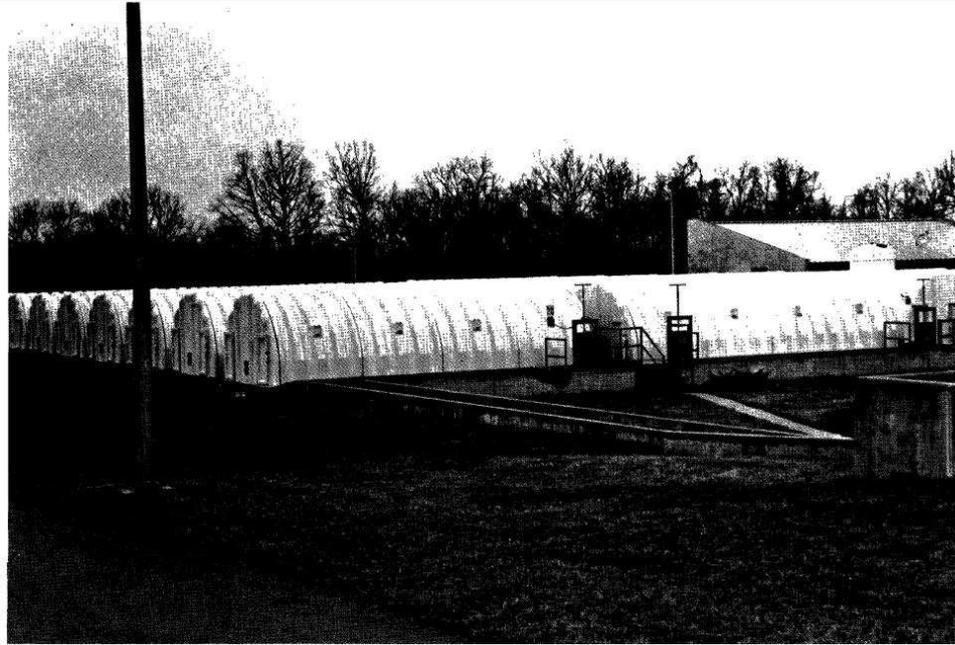


Figura 2-2. Fotografía de la unidad de aire de Autotrol en un sistema CBR, Clermont County, Ohio.

En 1972 se anunció el desarrollo de un nuevo sistema construido de hojas de poliestireno, aumentándose el área superficial de  $52.5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a  $121 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . El nuevo sistema se comercializó bajo el nombre de Bio-Surf. A partir de entonces, el uso comercial del sistema ha aumentado y expandido a aguas residuales municipales e industriales.

## 2.2. Fundamentos del proceso

### 2.2.1. Principio del proceso biológico

Los principios biológicos involucrados en los procesos del contactor biológico rotatorio son los mismos para todos los procesos biológicos de tratamiento. Los microorganismos crecen en un ambiente aerobio controlado, mientras que el desecho y las sustancias carbonáceas son consumidas en su ciclo de respiración y metabolismo energética.

La característica fundamental del biodisco es que los microorganismos están adheridos a la superficie del disco, el cual está parcialmente sumergido en el agua residual. Los discos de un medio plástico están colocados en una flecha horizontal montada sobre un tanque de aluminio o de acero, recubierta con una pintura anticorrosiva y sumergidos aproximadamente en un 40% del área superficial total del biodisco. Los microorganismos presentes en el agua residual comienzan a fijarse y multiplicarse en la superficie de los discos que se cubren con una película biológica de 2 a 4 mm de espesor. (Benefield and Randall, 1980)

Durante la rotación, el reactor acarrea una película de agua residual, la cual absorbe oxígeno del aire, para que los organismos de la película biológica fijos a los discos puedan realizar su metabolismo y remover la materia orgánica soluble en el licor dentro del reactor.

El suministro de oxígeno y la remoción de la materia orgánica se efectúa mientras que el sistema de discos continúe girando a través del agua residual contenida en el tanque.

En la figura 2-3 se puede observar el funcionamiento básico de un biodisco moderno en operación.

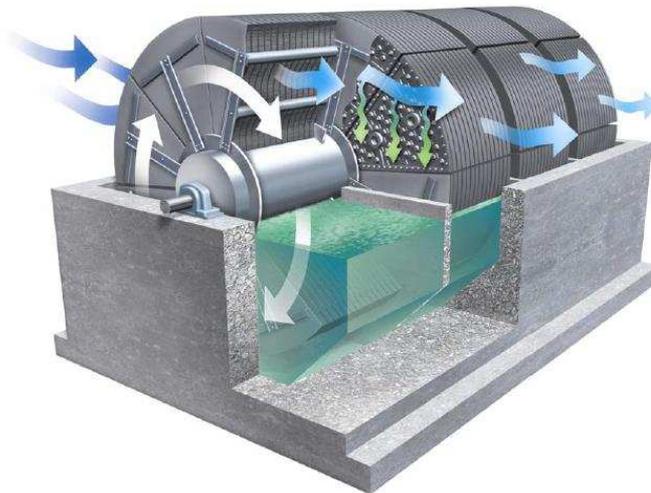


Figura 2-3. Funcionamiento de un biodisco

Las fuerzas de fricción ejercidas sobre la película biológica provocan que el exceso de biomasa se desprenda de los discos. Esto evita la producción excesiva

de la película biológica manteniéndola con un espesor casi constante que es función del sustrato removido y de la velocidad de rotación. La rotación del sistema mantiene en suspensión a la biomasa desprendida hasta que el flujo de agua la lleva fuera del reactor para su separación posterior por sedimentación.

La rotación del sistema cumple con algunos propósitos:

1. Proporciona contacto vigoroso entre la película y el agua residual
2. Expone continuamente al aire a la película biológica, esto mantiene el sistema en condiciones aerobias.
3. Ayuda a la distribución uniforme del oxígeno y del sustrato soluble en la biomasa.
4. Crea un medio mecánico para establecer un equilibrio de la biomasa de organismos adheridos a los discos y la que se encuentra en suspensión en el licor del reactor.
5. Mantiene el reactor biológico en condiciones de mojado propicias para la difusión de los gases.

El desarrollo de la película biológica se divide en tres etapas (Trulear y Characklis, 1982).

Fase de inducción. Esta fase comprende la adsorción orgánica, seguida del transporte y adhesión de las bacterias sobre la superficie.

Fase de acumulación. Durante esta fase hay un aumento logarítmico de la población de bacterias con una tasa de acumulación casi constante.

Fase estacionaria. En esta fase la película biológica desprendida y la producción se encuentran en equilibrio dinámico.

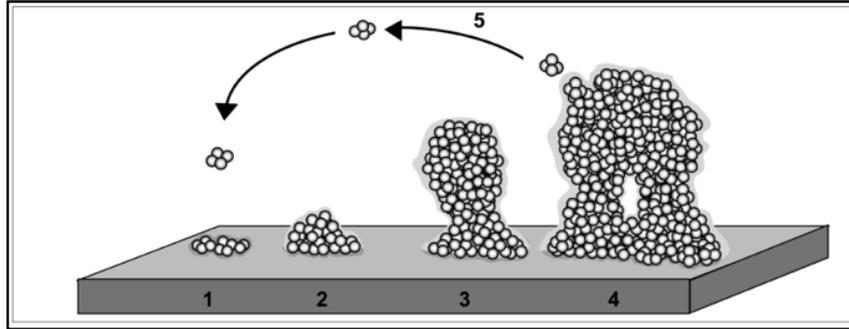


Figura 2-4. Desarrollo de la biopelícula representado como un proceso de cinco etapas. Etapa 1: adherencia de las células a la superficie; etapa 2: producción de la matriz extracelular exopolisacárida; etapa 3: desarrollo de la arquitectura de la biopelícula; etapa 4: Maduración de la arquitectura de la biopelícula; etapa 5: dispersión de células bacterianas desde la biopelícula.

### 2.2.2. Cinética de la película biológica

Los procesos para los cuales los reactores de película biológica han sido usados o propuestos para usarse en el tratamiento de aguas residuales son: la oxidación de la materia orgánica, nitrificación, desnitrificación y digestión anaerobia; esta última no se considera en este trabajo. La estequiometría de las reacciones que involucran materia orgánica incluyen la producción celular y la dependencia de las condiciones ambientales (Harremoes, 1978).

Una reacción de óxido-reducción común en estos procesos es:



Para agua residual doméstica se establece, en general, que los sustratos limitantes se representan por A o B, aunque en aguas residuales industriales el factor limitante puede ser un nutriente.

Diferentes fenómenos pueden ser limitantes en la reacción total de la película biológica. Algunos de estos fenómenos están indicados en la figura 2-5. Cada sustrato (donador de electrones), y cada nutriente requerido para la reacción ha sido transportado de la solución total a la película biológica, en donde la reacción se efectúa y todo producto, excepto la biomasa, ha sido transportado hacia afuera.

Los fenómenos involucrados son: la difusión en la película líquida, difusión dentro de la película biológica y la reacción de óxido-reducción propiamente dicha.

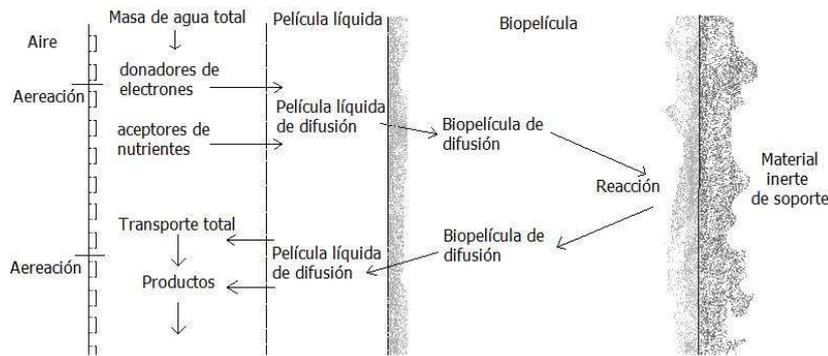


Figura 2-5. Representación de la tasa limitante potencial involucrada en las reacciones de biopelícula

## 2.3. Ventajas y desventajas del sistema CBR

### 2.3.1 Ventajas

Las principales ventajas del proceso de biodiscos sobre otros tratamientos biológicos de agua de desecho son el bajo consumo de energía y la simplicidad de operación y mantenimiento, otra ventaja es que es posible diseñar fácilmente unidades para aumentar su capacidad en el futuro. El proceso no necesita recircular los lodos desde el sedimentador secundario, con lo cual se ahorran las bombas de recirculación y la tubería correspondiente, además, el control del proceso es muy simple.

El biodisco no es afectado negativamente por fluctuaciones hidráulicas, ya que tiene una capa de microorganismos adherida; se ha informado que una sobrecarga hidráulica con duración de tres minutos no causa desprendimiento significativo de la biomasa y que el biodisco puede recobrar rápidamente su estabilidad en los casos donde las cargas hidráulicas y/u orgánica aumenten y/o disminuyan en forma súbita o varíen de forma intermitente. Esta es una característica muy importante del proceso, sobre todo cuando se trata de aguas de desecho de una industria o de alguna zona de recreación.

La concentración de sólidos en el efluente de un biodisco es menor que la DBO o igual a ésta, esto significa que para aguas de desecho de tipo doméstico, dicha concentración es igual a 30 mg SST/L o menor, aunque en algunos casos la concentración de sólidos alcanza valores de 200 mg/L. Lo anterior implica que el tamaño del sedimentador secundario debe ser pequeño para el proceso de biodiscos, ya que la carga de sólidos es menor. Además, la

biomasa desprendida de los discos se presenta en forma de agregados grandes y densos, los cuales sedimentan fácilmente (Rafael López R., 2004).

Comparado con otros procesos de película fija, es posible afirmar que el biodisco retiene una película biológica que se utiliza efectivamente en toda el área de contacto. Además, no es necesario lavar el disco para eliminar el exceso de biomasa, ya que no hay acumulación. En el biodisco se puede utilizar con éxito el clarificador subyacente o subterráneo, el cual ofrece ventajas, pues reduce los costos de construcción, requerimientos de área de terreno y pérdidas de carga hidráulica.

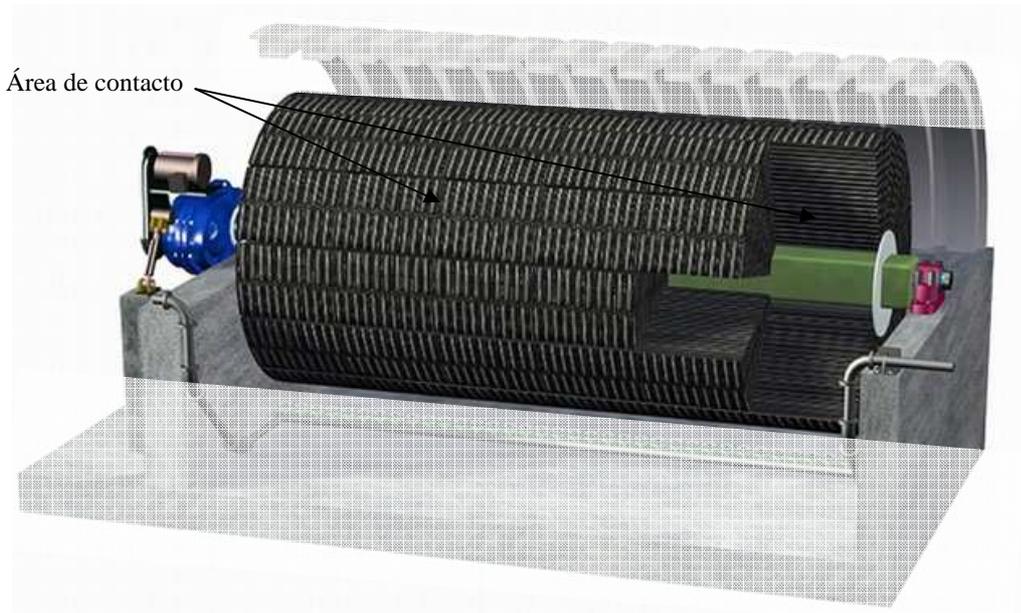


Figura 2-6. Área de contacto de un CBR.

El proceso de biodiscos carece de los problemas de aerosol y ruido que se presentan en todos los sistemas de lodos activados. Cuando se tratan aguas de desecho con agentes tensoactivos, se tiene el problema de la espuma, el cual es más severo en el sistema de lodos activados (sobre todo en el aireado mecánicamente) que en el de biodiscos.

El sistema admite bajas temperaturas exteriores, siempre y cuando se mantenga una temperatura del agua residual mayor a 13°C para evitar problemas de desprendimiento de biopelícula.

Otra ventaja importante es que son de pequeñas dimensiones, a nivel de depuradora convencional, considerando una instalación completa y permitiendo poco requerimiento de terreno para un tratamiento secundario. Además, se han usado sistemas de CBR instalados como complemento a otros sistemas de tratamiento, demostrando ser muy eficaz (Seoánez C. Mariano, 2004).

### 2.3.2. Desventajas

Una de las principales desventajas de los biodiscos con hojas corrugadas de polietileno es su difícil fabricación, por otra parte, el diseño mecánico del sistema debe ser riguroso, pues se han registrado varios casos de rompimiento y desanclaje de la flecha que soporta los discos; además, para efectuar la instalación, generalmente se requieren grandes grúas y personal especializado. Como el proceso involucra tres fases (líquida, sólida y gaseosa) no se ha podido desarrollar un modelo matemático que lo represente satisfactoriamente. Los modelos simples resultan insuficientes y los complicados involucran tantas variables que es necesario invertir tiempo y capital en su calibración. Por ello, el diseño se sigue basando en forma importante en la experiencia del ingeniero y utilizando los criterios de la CNA.



Figura 2-7. Rompimiento del material de fijación

Otro inconveniente de los biodiscos es que sus costos se comportan de manera casi lineal con respecto a los caudales de agua por tratar, lo cual no sucede en otros sistemas convencionales. Además, se encuentra limitado al uso de medios densos en los primeros

pasos, ya que podrían causar taponamiento. La nitrificación puede causar problemas de alcalinidad, lo que llevaría al diseño de una fuente alterna para cubrir dicho déficit.

### 3. CRITERIOS DE DISEÑO

#### 3.1. Consideraciones del proceso de diseño

Existen muchas similitudes entre las consideraciones de diseño de un sistema de biodiscos y las usadas para filtros percoladores, ambos sistemas desarrollan una biopelícula superficial de bacterias y dependen de la transferencia de oxígeno y sustratos del agua residual a la biopelícula. Las características físicas e hidrodinámicas que se requieren para el diseño de un proceso CBR están basados en la información de una planta piloto y el espacio de instalación. Al igual que en los filtros percoladores, la carga orgánica del agua residual afecta la eficiencia de remoción de la DBO y la carga de nitrógeno después de una concentración mínima de DBO llega a afectar la eficiencia de nitrificación. A diferencia de los filtros percoladores donde el flujo del agua residual se acerca a un régimen de flujo hidráulico, las unidades del proceso de CBR giran dentro de un cilindro que contiene el agua de desecho, de modo que se necesitan espacios separados para desarrollar los beneficios de una etapa de diseño de reactor biológico. El diseño de un sistema de CBR debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Número de etapas de las unidades de CBR
- b) Criterios de carga
- c) Características de las aguas residuales
- d) El diseño de un clarificador secundario

*Etapas de CBR.* Se refiere a la compartimentación de los discos del CBR que definen una serie de celdas independientes. Con base en la transferencia de masa y los principios de cinética biológica, las mayores tasas de remoción de sustrato se producirán en la biopelícula de los discos a mayor concentración de sustrato en el agua residual. Porque una baja concentración de sustrato en el efluente y una alta tasa de remoción de sustrato son generalmente el objetivo final del tratamiento, la reducción de las áreas de los discos puede realizarse usando varias unidades de CBR.

La aplicación típica del proceso de CBR consiste en cierto número de unidades operando en serie. El número de etapas depende de los requerimientos de calidad final del agua, para remover DBO se usan de dos a cuatro etapas y seis más para el proceso de