



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROYECTO PARA LA OPERACIÓN DE UN PROTOTIPO
DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES A BASE DE CONTACTORES BIOLÓGICOS
ROTATORIOS**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A:
LUIS ANTONIO MATA AMARO**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ**



MÉXICO, DF

2010



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.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia:

Porque los valores que me inculcaron, las oraciones que dedicaron y el apoyo incondicional que me han brindado me ayudaron a terminar exitosamente mi carrera, ahora espero compartir este logro con ustedes.

A mi facultad:

Porque pudiendo narrar una grata experiencia por cada salón que la integra sólo me limitaré a afirmar mi cariño por este centro de reunión de maestros y amigos.

A mis maestros:

Porque gracias a ellos cuento con las bases para desarrollarme como ingeniero, pero además, a ellos pertenece mi análisis abstracto no sólo de problemas matemáticos, sino de aquellos que presenta la vida misma y no se encuentran en libros.

A mis compañeros y amigos:

Porque me permitieron tomar lo mejor de cada uno de ellos al compartir camino, porque cada clase la hicieron amena, y sobre todo porque fueron los protagonistas de muy buenos recuerdos que forman parte de mi paso por la universidad.

CONTENIDO

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	
1.2. Objetivos	
1.3. Alcances	
2. Contactores Biológicos Rotatorios	3
2.1. Historia	
2.2. Fundamentos del proceso	
2.3. Ventajas y desventajas del sistema CBR	
3. Criterios de diseño	12
3.1. Consideraciones del proceso de diseño	
3.2. Proceso de diseño de biodiscos	
4. Descripción del prototipo	22
4.1. Especificaciones técnicas	
4.2. Experiencias reportadas con prototipos similares	
5. Propuesta de la metodología experimental para la operación del prototipo	43
5.1. Objetivo e hipótesis	
5.2. Alcances	
5.3. Metodología para el desarrollo del experimento	
5.4. Pruebas del prototipo	
5.5. Montaje	
6. Conclusiones	54

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de disponer de agua de buena calidad para el uso y consumo humano, el acelerado cambio climático (principalmente en las últimas décadas), y el crecimiento demográfico han motivado el desarrollo de distintos y variados sistemas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de evitar daños que alteren fuertemente los ecosistemas.

1.1. Antecedentes

Los estudios de los sistemas de tratamiento de aguas residuales por medio de contactores biológicos iniciaron a principios del siglo XX y desde entonces su investigación ha contribuido al mejoramiento de este tipo de sistemas que presentan ventajas considerables para poblaciones pequeñas principalmente. El uso de materiales como el polietileno de alta densidad, la fibra de vidrio, entre otros, impulsó el desarrollo de los contactores biológicos rotatorios, ya que presentan características físicas que hacen eficiente y rentable la construcción de los mismos.

El Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UNAM dispone de un prototipo de sistema de contactores biológicos rotatorios (CBR) que se planea evaluar como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el edificio de la División de Ingenierías Civil y Geomática (DICyG), que forma parte del conjunto denominado Sur.

De los veintitrés edificios de que dispone la Facultad de Ingeniería en Ciudad Universitaria, algunos de los que integran el conjunto Sur no disponen de conexión a la red de alcantarillado, por lo que las aguas residuales que se generan en sus instalaciones sanitarias y laboratorios se disponen de manera individual en grietas del subsuelo rocoso, en el mejor de los casos, después de pasar por un tanque séptico.

Los resultados de la evaluación del sistema de contactores biológicos rotatorios adicionalmente a la evaluación de otros sistemas, permitirán analizar sus ventajas y desventajas así como la conveniencia de emplear sistemas de tratamiento por edificio o conjunto de edificios, en lugar de construir los colectores y atarjeas que transporten las aguas residuales hasta la planta de tratamiento ubicada en el acceso al campus de la avenida Cerro del Agua.

En el Capítulo 2 se abordarán los antecedentes históricos del sistema de tratamiento CBR, así como los fundamentos del proceso que llevaron al desarrollo del mismo, y las ventajas y desventajas más sobresalientes del sistema.

En el Capítulo 3 se mencionan las consideraciones necesarias para el diseño de un sistema CBR siendo éstas: número de etapas de unidades de CBR, criterios de carga, características del agua residual y el diseño de un clarificador secundario. En el mismo capítulo se proporciona un procedimiento de diseño de biodiscos en dos casos: remoción de DBO y nitrificación.

En el Capítulo 4 se presentan las características técnicas de la planta prototipo y las experiencias obtenidas con equipos similares que proporcionan información suficiente y confiable sobre los parámetros comunes en el tratamiento de aguas residuales como: DBO₅, DQO, SST, pH, temperatura y N-NH₃, entre otros.

En el capítulo 5 se hace una propuesta de la metodología experimental para la operación del prototipo, donde se definen los objetivos, hipótesis y alcances de la misma, de igual manera se fijan los métodos de análisis de los parámetros a estudiar y se plantea el montaje de la planta prototipo.

En el Capítulo 6 se presentan las conclusiones generadas a partir de la comparación de los registros obtenidos en las plantas similares (Capítulo 4) y lo que se espera obtener como resultado en la puesta en marcha del prototipo en estudio.

1.2. Objetivos

- a) Planear y diseñar una planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el edificio de la DICyG.
- b) Proponer una metodología de evaluación del sistema de contactores biológicos rotatorios como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales de dicho edificio.
- c) Describir el procedimiento de control del proceso de la planta piloto.

1.3. Alcances

- a) El principal propósito de esta tesis es la de presentar un proyecto para la operación de una planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la División de Ingeniería Civil y Geomática, tomando en cuenta las condiciones que

- 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.

- 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.

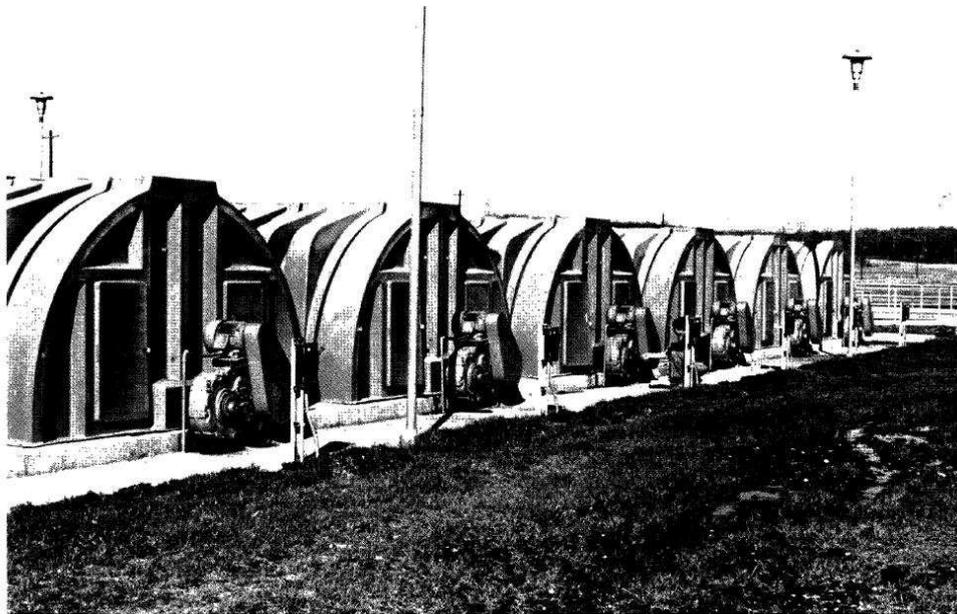


Figura 2-1. Fotografía de las puertas de operación mecánica de un sistema de CBR, Butler County, Ohio.

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.

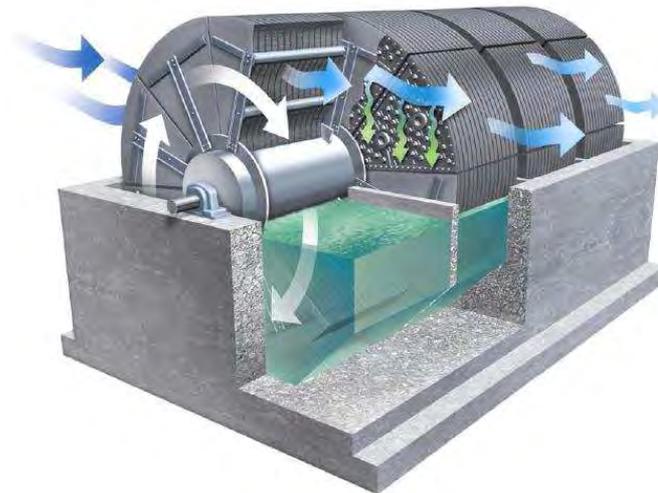


Figura 2-3. Funcionamiento de un biodisco

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.

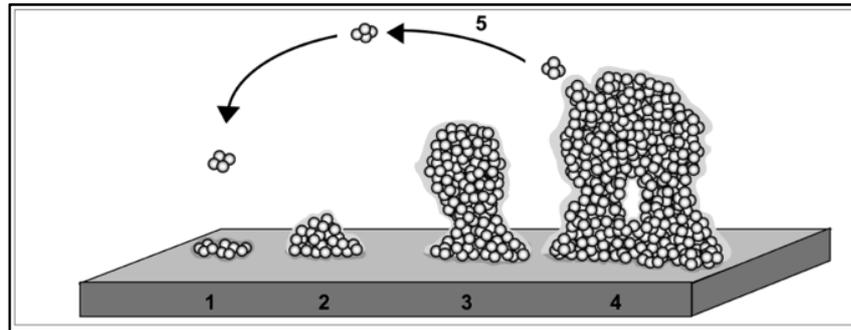


Figura 2-4. Desarrollo de la biopelícula representado como un proceso de cinco etapas. Etapa 1: adherencia de las células a la superficie; etapa 2: producción de la matriz extracelular exopolisacárida; etapa 3: desarrollo de la arquitectura de la biopelícula; etapa 4: Maduración de la arquitectura de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

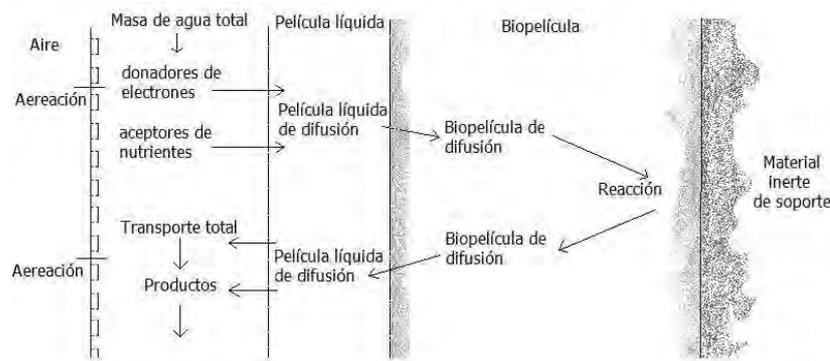


Figura 2-5. Representación de la tasa limitante potencial involucrada en las reacciones de biopelícula

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.

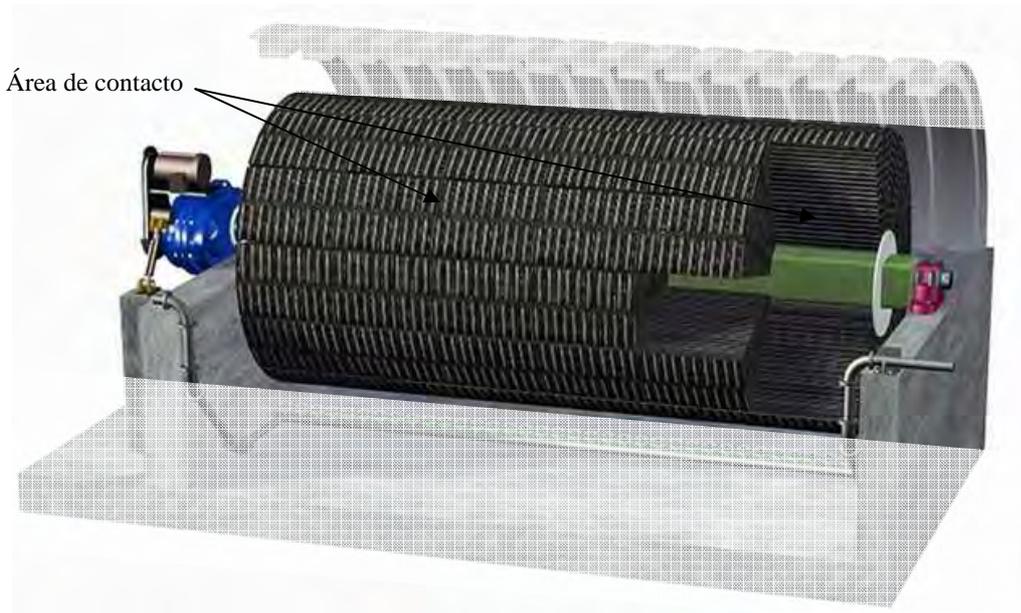


Figura 2-6. Área de contacto de un CBR.

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

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

nitrificación. Las etapas pueden lograrse usando compartimentos en un solo tanque o con el uso de tanques en serie separados. Con esto se provocan condiciones donde distintos organismos pueden crecer gradualmente de etapa a etapa. El desarrollo gradual en cualquier etapa depende principalmente de la concentración orgánica del agua residual en la misma. Debido a que el agua de desecho fluye a través del sistema, cada etapa subsecuente recibe un afluente con una concentración orgánica más baja que en la etapa anterior.

Para plantas pequeñas, los ejes de soporte de los biodiscos se encuentran paralelos a la dirección del flujo con grupos de discos separados por paredes delgadas (Fig. 3-1a).

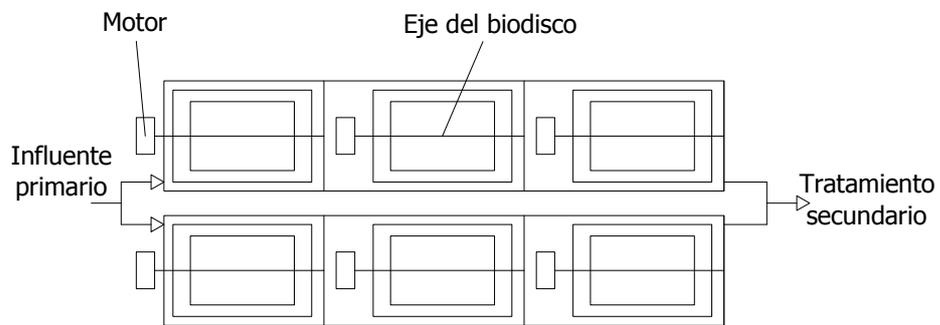


Figura 3-1a. Flujo paralelo al eje

En grandes instalaciones los ejes se encuentran perpendiculares al flujo con varias etapas en serie para formar un tren de proceso (fig. 3-1b).

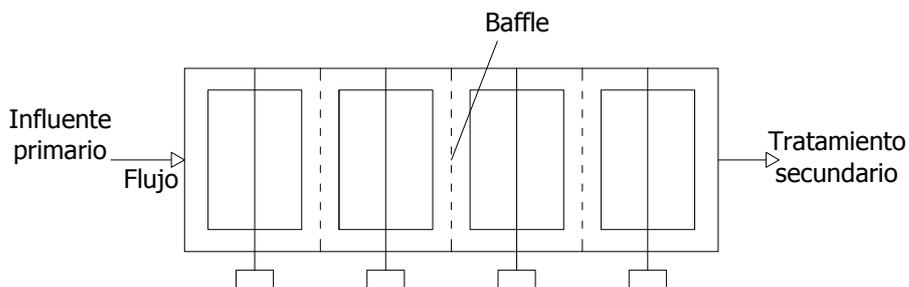


Figura 3-1b. Flujo perpendicular al eje

Para manejar las cargas en las primeras unidades, se puede usar un paso de alimentación (fig. 3-1d) o un sistema triangular (fig. 3-1e). Se deben usar dos o más trenes de flujo paralelos permitiendo así que las unidades puedan estar aisladas para mantenimiento.

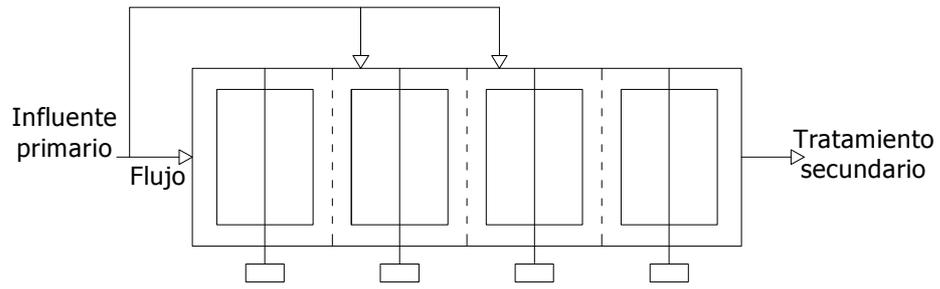


Figura 3-1d. Paso del caudal de alimentación

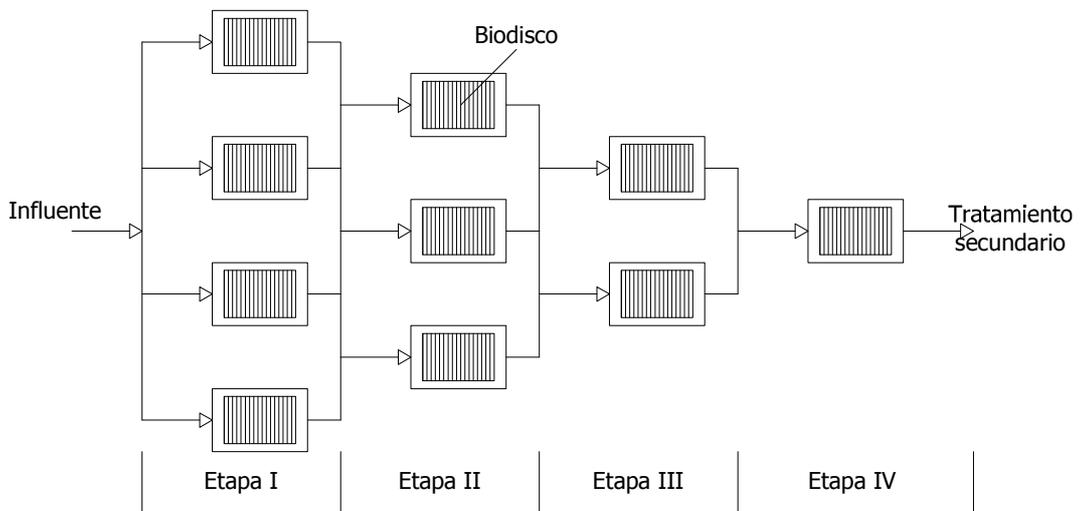


Figura 3-1e. Flujo de alimentación cónico paralelo al eje

Los sistemas de tratamiento que emplean biodiscos han usado para la remoción de DBO, pretratamiento de aguas residuales industriales, remoción combinada de DBO y nitrificación, nitrificación terciaria, y desnitrificación. La principal ventaja del proceso de biodiscos es la simplicidad en su operación y el bajo costo de consumo de energía.



Figura 3-1c. Foto de biodiscos con un flujo perpendicular al eje

Criterio de carga de biodiscos. Con base en la experiencia obtenida a lo largo del uso de biodiscos se ha observado que su rendimiento está relacionado con la tasa de carga superficial total y el oxígeno disuelto para la remoción de DBO y $\text{NH}_4\text{-N}$ para nitrificación. Para un tratamiento exitoso la tasa de carga debe estar dentro de la capacidad de transferencia de oxígeno del sistema. Cuando la demanda de oxígeno excede la capacidad de transferencia de oxígeno se originan problemas tales como bajos rendimientos, olores y desprendimiento de bio-película. Una característica de este problema es el desarrollo de *Beggiatoa*, una bacteria oxidante reductora de azufre, sobre la parte exterior de la bio-película y la cual previene el desprendimiento. Un espesor de bio-película puede desarrollarse hasta conseguir el peso suficiente para dañar la resistencia estructural de los discos y su eje.

Bajo condiciones de sobrecarga existen condiciones anaerobias en el fondo de la película adherida. El sulfato es reducido a H_2S , el cual se expande a la capa exterior de la bio-película donde hay oxígeno disponible. La *Beggiatoa*, una bacteria de filamentos, es capaz de oxidar el H_2S y otros compuestos reductores de azufre, formando una firme bio-película blancuzca que no provoca desprendimiento bajo condiciones normales de operación. Esto es muy importante en el diseño de biodiscos para seleccionar la carga suficiente de DBO para las condiciones iniciales y evitar sobrecargas. En la primera etapa los olores son el problema más frecuente causado por la excesiva carga orgánica.

Debido a que el oxígeno disuelto es consumido rápidamente en la primera etapa de un sistema de biodiscos, muchas fábricas especifican cargas en un rango de 12 a 20 g de DBO soluble/ m^2d para la primera etapa. Asumiendo un 50 por ciento de DBO soluble, la tasa de carga de DBO total es de 24 a 30 g DBO/ m^2d . Para algunos diseños esto implica aguas residuales concentradas, el criterio de carga es cumplido por las distribuciones del flujo a las unidades de biodiscos en la primera etapa o usando un paso de alimentación cerca de la misma como se muestra en la fig. 3-1d.

Para la nitrificación, el diseño de biodiscos puede ser muy similar al utilizado para la nitrificación terciaria en filtros percoladores después de que la concentración de DBO soluble es agotada en los biodiscos antes de la nitrificación. La máxima tasa de área de remoción de nitrógeno que se ha observado es cerca de 1.5 g N/ m^2d , la cual es bastante similar a los valores observados para filtros percoladores.

Características del afluente. El sistema de tratamiento con biodiscos puede ser diseñado para tratamientos a niveles avanzados o como un tratamiento secundario. Las características de DBO para un tratamiento secundario son comparables con la correcta operación del proceso de lodos activados. Los biodiscos pueden proporcionar tratamientos combinados para DBO y nitrógeno amoniacal, o para proporcionar nitrificación independiente de un afluente secundario. Las tasas típicas de las características de un afluente están indicadas en la Tabla 3-1. Se han usado biodiscos sumergidos totalmente para la desnitrificación de aguas residuales.

Tabla 3-1. Información típica de diseño para un sistema CBR

Parámetro	Unidades	Nivel de tratamiento		
		Remoción de DBO	Remoción de DBO y nitrificación	Nitrificación separada
Carga hidráulica	m ³ /m ² *d	0.08 - 0.16	0.03 - 0.08	0.04 - 0.10
Carga orgánica	g DBOs/m ² *d	4 - 10	2.5 - 8	0.5 - 1.0
	g DBO/m ² *d	8 - 20	5 - 16	1 - 2
Carga orgánica máxima en la 1 ^a etapa	g DBOs/m ² *d	12 - 15	12 - 15	-
	g DBO/m ² *d	24 - 30	24 - 30	-
Carga de NH ₃	g N/m ² *d	-	0.75 - 1.5	-
Tiempo de retención hidráulico	h	0.7 - 1.5	1.5 - 4	1.2 - 3.0
DBO del efluente	mg/L	15 - 30	7 - 15	7 - 15
NH ₄ -N del efluente	mg/L	-	< 2	1 - 2

3.2. Procedimiento de diseño de biodiscos

El proceso de diseño se basa normalmente en curvas empíricas de carga suministradas por los fabricantes de los biodiscos. A partir de estas curvas puede estimarse la carga superficial, L , m³/s m² para reducir una DBO dada en el efluente hasta el valor deseado de la DBO del efluente (Ramalho, 1993). El área superficial requerida para un caudal total de Q , m³/s es por tanto:

$$A = \frac{Q_0}{L} = \frac{m^3/s}{m^3/s m^2} = m^2 \quad (3.0)$$

Sin embargo, se han desarrollado aproximaciones empíricas de diseño para los sistemas de biodiscos con base en los datos de una planta piloto y otra a escala real y se consideran como factores fundamentales el área de superficie de los discos y las cargas específicas en términos de g/m² de área de disco por día. En este apartado se presentan tres enfoques

para el diseño de biodiscos: remoción de DBO, nitrificación (Metcalf & Eddy, 2004) y siguiendo los criterios proporcionados por la CNA (CNA, 1994).

Remoción de DBO

Los modelos de diseño para la remoción de DBO en biodiscos son revisados por la WEF (2000). En una comparación de diseño, los resultados de los modelos generalmente reducen las cargas de DBO determinadas por el fabricante y son, en algunos casos, similares para la DBO cerca del 90 por ciento. Por esto, un modelo de segundo orden de Opatken (U.S. EPA 1985) es seleccionado para estimar el área superficial del biodisco requerida, ya que el modelo fue desarrollado con datos de nueve plantas a escala real e incluye etapas de diseños de los reactores.

Este modelo de segundo orden se adaptó para el SI por Grady (1999), y los términos fueron convertidos tomando en cuenta el área superficial del disco. El modelo puede ser utilizado para estimar la concentración de DBO soluble en cada etapa.

$$S_n = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{A_s}{Q}\right) S_{n-1}}}{(2)(0.00974) \left(\frac{A_s}{Q}\right)} \quad (3.1)$$

donde:

S_n = concentración de DBO soluble en la etapa n, mg/L

A_s = Área superficial del disco en la etapa n, m²

Q = Gasto, m³/d

Debido a que la ecuación (3.1) sólo aplica para concentraciones de DBO soluble, se supone el diseño de un clarificador secundario del efluente con una proporción DBO soluble/DBO de 0.50 para una concentración de DBO en el efluente.

De igual manera, sin la concentración de DBO soluble para la alimentación del efluente primario del sistema de biodiscos, se considera una proporción de DBO soluble/DBO entre 0.50 y 0.75. Debido a que el diseño está basado en la DBO soluble, la tasa de la carga orgánica soluble en la primera etapa debe ser igual o menor de 12 a 15 g DBOs/m² d, para determinar el área de disco en la primer etapa, además de la concentración de DBOs del efluente con la ecuación (3.1).

Nitrificación.

Los sistemas de tratamiento que cuentan con biodiscos pueden ser utilizados para desarrollar biopelículas nitrificantes para la nitrificación de efluentes secundarios o en bajas cargas de DBOs donde la nitrificación puede ocurrir en el sistema de remoción de DBO. Para una combinación de remoción de DBO y nitrificación, la nitrificación será prevenida o inhibida por la adición de DBOs a la unidad de biodiscos. La bacteria nitrificante puede competir por espacio en el disco una vez que la concentración de DBOs es reducida a valores entre 10 y 15 mg/L. La concentración de DBOs restante en el tanque del biodisco estará relacionado a la carga de DBOs. Pano y Middlebrooks (1983) proporcionaron una relación para mostrar el efecto de la carga de DBOs en las tasas de nitrificación:

$$Fr_n = 1.00 - 0.1DBOs \quad (3.2)$$

donde:

Fr_n = Tasa de nitrificación posible sin efectos de DBOs

DBOs = Carga de DBO soluble, g/m² d

Para una tasa de carga de DBOs de 10 g DBOs/ m² d, la tasa de nitrificación tiende a cero.

Dimensionado

Por lo que se refiere al dimensionado, se debe partir de los siguientes datos previos:

Afluente:

- DQO
- DBO₅ soluble
- DBO₅ total
- Sólidos en suspensión
- Temperatura
- pH
- Calidad bacteriológica
- N amoniacal
- Caudal medio
- Caudal punta

- Productos específicos según origen (detergentes, grasas, metales, etc)

Efluente:

- Condiciones de calidad según parámetros marcados previamente

Cálculo de la superficie de los CBR

Si tenemos que:

$$Q * S = Q * S_0 - R * A \quad (3.3)$$

donde:

Q = Caudal afluente

S = Concentración del sustrato de salida

S₀ = Concentración del sustrato de entrada

R = Sustrato eliminado por día

A = Superficie de CBR

Entonces, si:

S = DBO₅ soluble a la salida del sistema

S₀ = DBO₅ soluble a la entrada del sistema

A = Superficie de tratamiento

R = R_c

donde:

$$R_c = \frac{19.4 * S}{15.1 + S} \quad (3.4)$$

Tendremos entonces que:

$$A = \frac{QS_0 - S}{R_c} = \frac{(15.1 + S)(QS_0 - S)}{19.4 * S}$$

$$A = \frac{QS_0 - S * T_c * F}{R_c} = \frac{(QS_0 - S * T_c * F)(15.1 + S)}{19.4 * S} \quad (3.5)$$

siendo:

T = Temperatura

T_c = Factor de corrección = 1.053^{12.7-T}

F = Factor de corrección. Si hay fermentación aerobia previa o si no hay tratamiento, F = 1; si hay fermentación anaerobia previa, F = 1.5

En una instalación completa, compuesta por ejemplo por: Tamizado, desarenador, decantador primario, CBR y decantador secundario, deberemos realizar los cálculos correspondientes para cada elemento (Seoáñez C. Mariano, 2004).

Así, para calcular uno de los decantadores tendremos que definir su superficie, lo que se realiza con la fórmula:

$$A = \frac{Q}{V} \quad (3.6)$$

siendo:

A = Superficie del decantador

Q = Caudal punta

V = Velocidad de alimentación

además:

$$V = V_1 \frac{X_e}{X_e + 0.034 X_s} \quad (3.7)$$

siendo:

V_1 = Velocidad inicial de sedimentación

X_e = Concentración de sólidos en suspensión del efluente a la salida

X_s = Concentración de sólidos en suspensión del afluente a la entrada

Criterios de la CNA

Con base en investigaciones sobre el funcionamiento de los sistemas de CBR y la recolección de datos de plantas puestas en marcha, la CNA cuenta con algunos criterios y recomendaciones de diseño, los cuales se muestran en la tabla 3-2 (CNA, 1994).

Tabla 3-2. Criterios de diseño

Parámetro		Valor
Carga Orgánica:		
Sin Nitrificación	[lb DBO ₅ / d / 1000pies ³ de medio]	30 - 60
	[g DBO ₅ / d / m ³ de medio]	480 - 9610
Con Nitrificación	[lb DBO ₅ / d / 1000pies ³ de medio]	15 - 20
	[g DBO ₅ / d / m ³ de medio]	240 - 320
Carga Hidráulica:		
Sin Nitrificación	[gal / d / pie ² de área superficial]	0.75 - 1.5
	[l / d / m ² de área superficial]	30.6 - 61.1
Con Nitrificación	[gal / d / pie ² de área superficial]	0.3 - 0.6
	[l / d / m ² de área superficial]	12.2 - 24.4
Tiempo de retención (basado en 0.12) gal / pie ²		
Sin Nitrificación [min]		40 - 120
Con Nitrificación [min]		90 - 250
Volumen del Tanque [gal / pie ² de área de disco]		
		0.12
[l / m ² de área de disco]		
		4.89
Número de trenes en paralelo recomendado		
Área superficial del medio:		
Disco	[pies ² / pie ³]	20 - 25
	[m ² / m ³]	66 - 82
Celocía estándar	[pies ² / pie ³]	30 - 40
	[m ² / m ³]	98 - 131
Celocía de alta densidad	[pies ² / pie ³]	50 - 60
	[m ² / m ³]	164 - 197

Número de pasos por tren:	
DBO ₅ sol. Deseable en el efl.	Número de pasos Min. Recomendado
>25	1
15 - 25	1 ó 2
10 - 15	2 ó 3
<10	3 ó 4

Se puede realizar un diseño con base en las tablas y fórmulas anteriormente expresadas, sin embargo, el mantenimiento debe ser uno de los principales cuidados en este tipo de sistemas, debido a que alguna falla en el mismo puede generar problemas en la estabilización de la masa biológica.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se detallan las características de la planta piloto y las experiencias de funcionamiento de prototipos en condiciones diversas, con aguas residuales domésticas e industriales.

4.1. Especificaciones técnicas

La planta piloto consiste en un tanque cilíndrico con un eje central de acero el cual soporta un medio plástico corrugado. La vista transversal seccional muestra canales internos que están mezclados hexagonalmente con una estructura de panal (Autotrol Corp.). El eje tiene una rotación lenta y los medios plásticos se sumergen en un 35% aproximadamente dentro del nivel del agua residual. El eje está soportado sobre los bordes del tanque por medio de baleros. El tanque está dividido en tres etapas; la primera con 18 discos y las otras dos etapas con 9 discos cada una. Además, está provisto de una cámara de alimentación donde se llenan las cubetas ubicadas sobre los brazos sujetos al eje de rotación. La planta piloto objeto del presente proyecto se muestra en las figuras 4-1 a 4-3

Etapas: 3 con arreglo 2 – 1 – 1

Área superficial: 23 m²

Relación volumen a superficie: 0.005 m³/m² (nominal) con biomasa

Diámetro del disco: 0.5 metros

Número de discos: 18 la primera etapa y 9 cada una de las dos siguientes.

Longitud de cada etapa: 66 cm 1^a etapa y 33 cm cada una de las dos siguientes.

Espesor nominal: 3.05 cm

Capacidad máxima: 6.15 m³/día

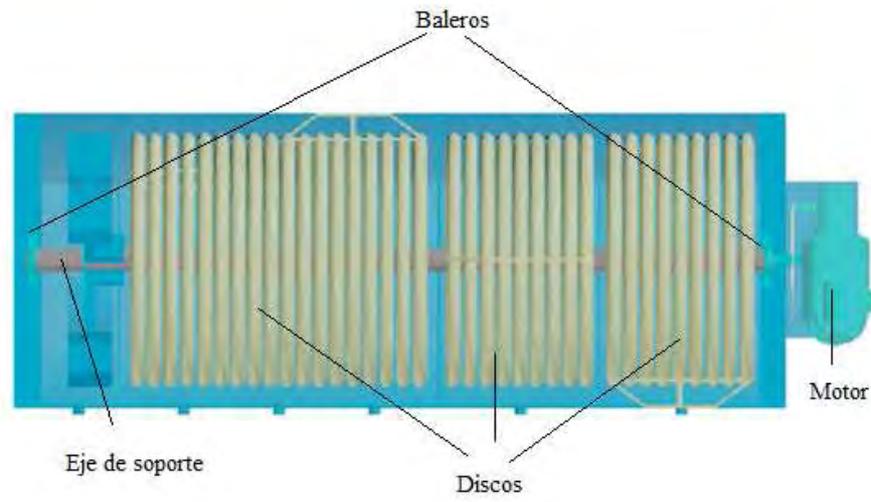


Figura 4-1. Vista en planta del prototipo

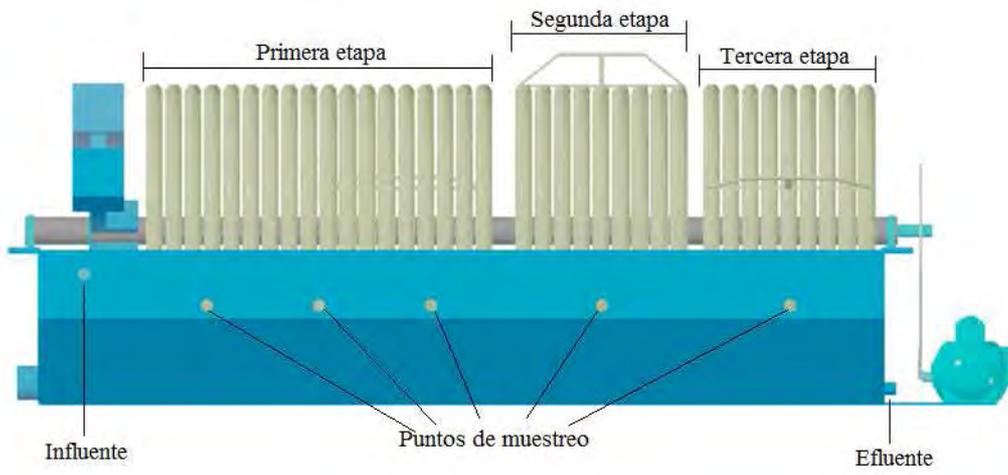


Figura 4-2. Vista lateral derecha del prototipo

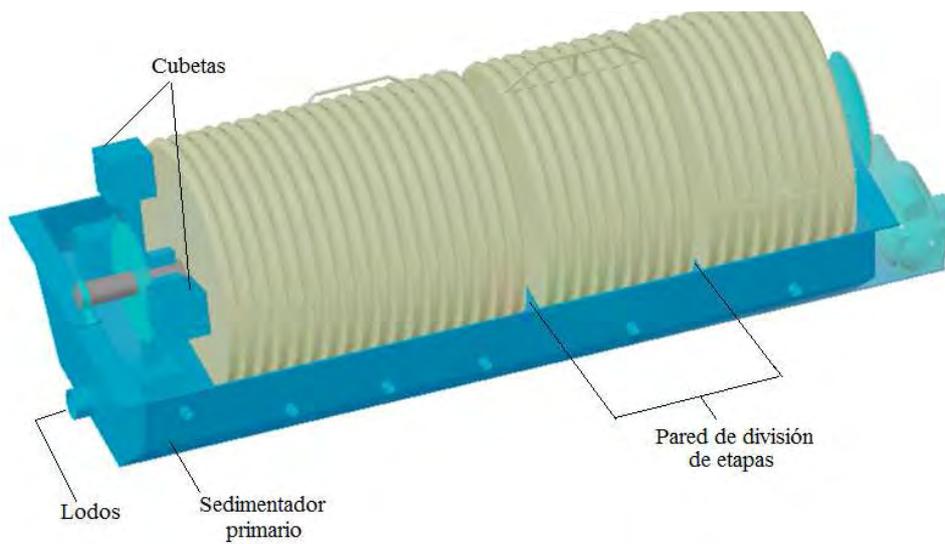


Figura 4-3. Vista en perspectiva del prototipo

Movimiento del Bio-Surf
Motor: Westinghouse
Voltaje: 115 Volts
Potencia: 0.25 HP
Fases: 1
Frecuencia: 60 ciclos
RPM: 1722
RPM de salida: 29.2
Engranaje motriz: 60 dientes
Cadena: RC 35
Revoluciones de la flecha: 7
Velocidad periférica media: 0.86 m/s

4.2. Experiencias reportadas con prototipos similares

En este apartado se incluyen dos casos de operación de plantas piloto con las mismas especificaciones del apartado anterior, pero con objetivos diferentes presentando los resultados y el análisis correspondientes.

4.2.1. Tratamiento de agua de remojo de la cebada por medio de biodisco¹

Entre las principales industrias del país se encuentra la cervecera que tiene como una de sus principales filiales y proveedoras de materia prima a la industria maltera, que es una de las que consume mayor volumen de agua (Landa, 1962). En una de las etapas de producción, la de remojo de la cebada consume cerca del 70% del agua que se utiliza en toda la planta, la cual puede reusarse precisamente para el mismo proceso de remojo, pero también puede utilizarse para lavados de pisos, agua de bombeo, etc.

Objetivos principales

Los objetivos de la operación de la planta piloto de biodisco fueron:

¹ "Tratamiento de agua de remojo de la cebada por medio de biodisco". M.I. Felipe Solorio Perusquia. Facultad de Ingeniería, UNAM 1988

- Evaluar las eficiencias de remoción de materia orgánica (como DBO₅ soluble y total, así como DQO soluble) obtenidas en el tratamiento del agua residual proveniente del remojo de la cebada.
- Comparar las eficiencias obtenidas por medio del biodisco contra otros sistemas de tratamiento biológico, como son los lodos activados y filtros percoladores, en la remoción de estos contaminantes encontrados en las aguas procedentes del remojo de la cebada.

Descripción del experimento

Debido a razones de operación de la fábrica maltera (un turno de 8 horas) el estudio se realizó sobre muestras simples obtenidas entre la 1 y 2 p.m., dos veces por semana, durante 9 semanas.

Los principales parámetros que se determinaron en éste estudio están basados en la periodicidad y frecuencia, siendo éstos: pH, temperatura, OD, DBO₅ total y soluble, DQO soluble, SST y SSV.

Todos los análisis de los parámetros monitoreados se efectuaron de acuerdo con los métodos estandarizados ([Standard Methods, 16ª edición](#)).

Presentación y análisis de resultados

- Comparación de dos procesos biológicos a través de la variación de la concentración de DBO total por etapas.

Tanto en las figuras 4-4 y 4-5 como en la tabla 4-1 se pueden ver la variaciones con el tiempo de DBO₅ totales y solubles en el efluente, en cada una de las etapas así como en el efluente, a lo largo de 67 días de experimentación con el biodisco utilizado.

Tabla 4-1. DBO₅ total y DBO₅ soluble [mg/L]

No.	Influyente		Etapa I		Etapa II		Etapa III		Efluente	
	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble
1	1250	1100	30	28	24	22	18	18	19	16
2	750	712	30	17	22	10	8	7	8	7
3	1292	1241	31	10	23	23	18	11	15	9
4	1250	1186	32	28	28	26	18	14	12	10
5	1515	1312	37	32	34	30	33	24	21	20
6	1608	1291	23	16	23	20	18	18	17	13
7	1312	633	24	23	28	18	18	14	16	12
8	2203	1874	65	55	48	19	36	18	34	14
9	1900	1600	32	28	28	28	22	20	22	15
10	1830	1722	36	25	32	26	26	23	23	17
11	3800	2000	40	36	28	28	40	28	24	16
12	1638	1438	110	46	27	25	44	37	36	32
13	2800	2400	132	100	100	76	88	64	82	54
14	2178	1900	46	25	32	24	28	18	14	12
15	2051	1800	40	25	39	25	38	30	15	11
16	1500	1250	39	29	36	25	36	27	15	14
17	1874	1621	47	40	25	21	22	20	16	13
18	1200	880	26	20	38	24	12	12	12	10
19	1900	1600	36	30	28	25	24	20	12	10
x	1781.6	1450.5	45.1	32.3	33.8	26.1	28.8	22.3	21.7	16.1
σ	674.4	454.3	28.7	19.5	17.3	12.9	17.5	12.4	16.3	10.6

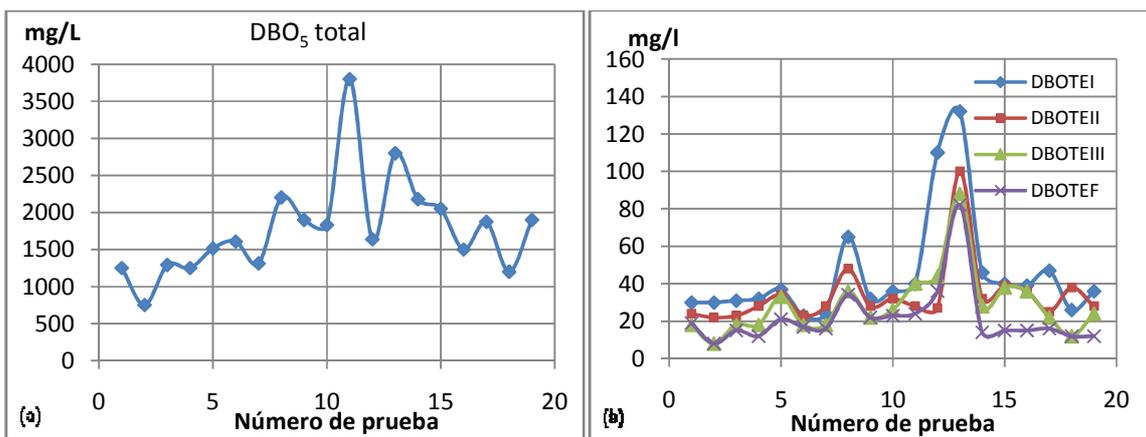


Figura 4-4 Variación de la DBO₅ total con respecto al tiempo. (a) DBO₅ total en el influente, (b) Variación de la DBO total por etapas.

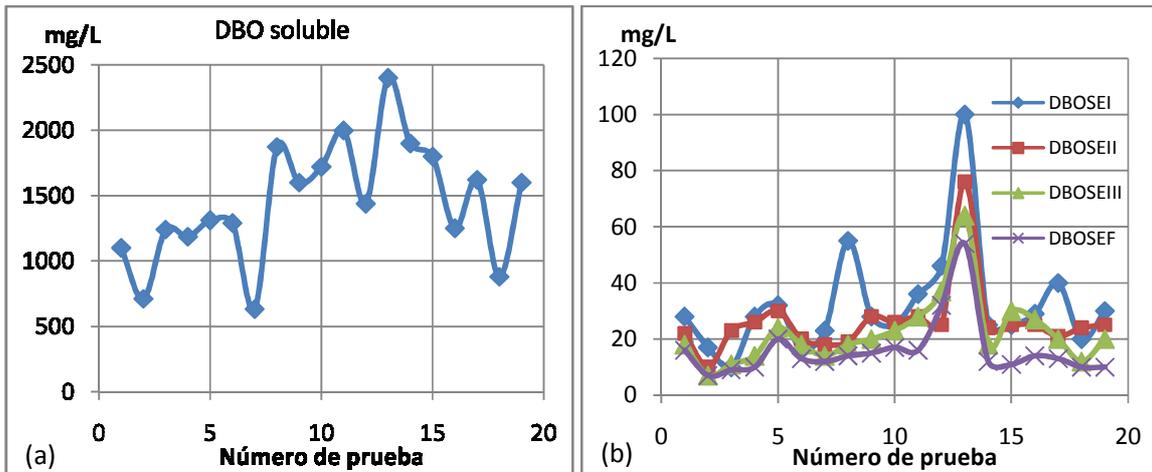


Figura 4-5. Variación de la DBO₅ soluble con respecto al tiempo. (a) DBO₅ soluble en el influente, (b) Variación de la DBO soluble por etapas.

Tabla 4-2. Concentraciones, en [mg/L], de DBO₅ en el tratamiento de agua de remojo por los procesos biológicos y eficiencias de remoción

Muestras	Filtro percolador (Landa, 1962)			Biodisco (Solorio, 1987)		
	Influyente	Efluente	Eficiencia	Influyente	Efluente	Eficiencia
1	306	127	58.5	1250	18	98.6
2	339	119	64.9	750	8	98.9
3	426	131	69.2	1292	18	98.6
4	401	108	73.1	1250	18	98.6
5	396	99	75.0	1515	33	97.8
6	434	106	75.6	1608	18	98.9
7	520	123	76.3	1312	18	98.6
8	347	87	74.9	2203	36	98.4
9	414	126	69.6	1900	22	98.8
10	684	192	71.9	1830	26	98.6
11	353	86	75.6	3800	40	98.9
12	446	117	73.8	1638	44	97.3
13	462	102	77.9	2800	88	96.9
14	384	123	68.0	2178	28	98.7
15				2051	38	98.1
16				1500	36	97.6
17				1874	22	98.8
18				1200	12	99.0
19				1900	24	98.7

En el trabajo de referencia se menciona que al evaluar y comparar estadísticamente, la confiabilidad de los biodiscos en la remoción de los

sustratos orgánicos contra las eficiencias relativas de los procesos utilizados en el estudio hecho por Landa 1962 con un filtro percolador para el tratamiento de agua de remojo de la cebada se observa la eficiencia de ambos sistemas, quedando el sistema de biodiscos como el más eficiente (tabla 4-2).

- Variaciones en las concentraciones de la DQO en el biodisco.

Del análisis del comportamiento de la DQO en el biodisco (ver tabla 4-3 y figura 4-6), el autor agrega que existe una alta eficiencia también en la remoción de DQO y el comportamiento es parecido a los parámetros anteriores.

Tabla 4-3. Concentraciones, en [mg/L], y eficiencias de remoción, en % de la materia orgánica en el biodisco experimental (Solorio, 1987)

Día	DBO ₅ soluble			DQO soluble		
	Influente	Efluente	Eficiencia	Influente	Efluente	Eficiencia
1	1110	18	98.4	1364	182	86.7
3	712	7	99.0	946	80	91.5
4	1241	11	99.1	1368	331	75.8
8	1186	14	98.8	1324	150	88.7
11	1312	24	98.2	1706	165	90.3
17	1261	18	98.6	2256	212	90.6
18	633	14	97.8	1653	122	92.6
23	1874	18	99.0	2428	182	92.5
31	1600	20	98.8	2160	256	88.1
38	1722	23	98.7	1950	174	91.1
39	2000	28	98.6	2090	128	93.9
44	1438	37	97.4	1845	210	88.6
45	2400	64	97.3	3160	296	90.6
52	1900	18	99.1	3213	255	92.1
53	1800	30	98.3	2300	132	94.3
58	1250	27	97.8	1797	159	91.2
60	1621	20	98.8	1959	212	89.2
66	880	12	98.6	1400	84	94.0
67	1600	20	98.8	2089	185	91.1

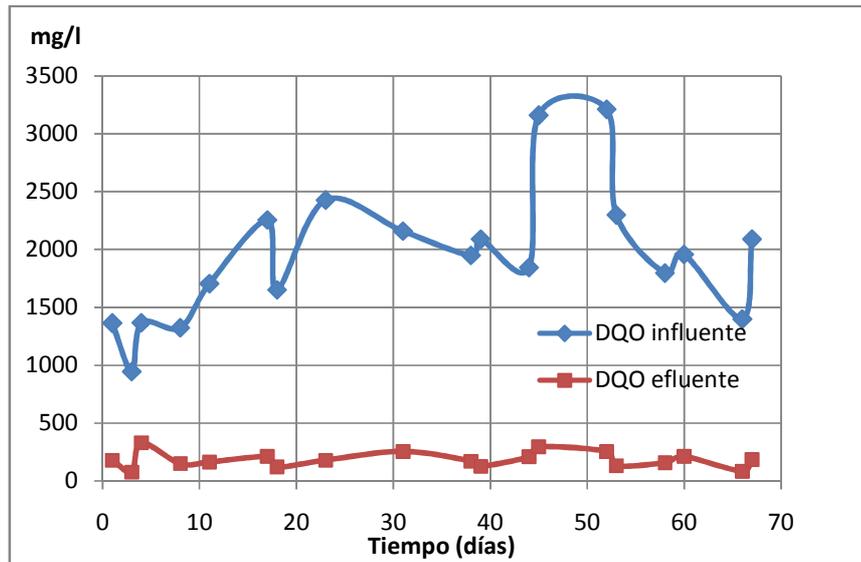


Figura 4-6. Variación de la DQO soluble con respecto al tiempo

- Variaciones en los sólidos suspendidos totales y volátiles en el biodisco.

La tabla 4-4 y la figura 4-7 presentan tanto concentraciones como las variaciones de sólidos suspendidos totales y volátiles a lo largo de los 67 días de experimentación. Basándose en estos datos, el autor hace notar que los parámetros SST y SSV monitoreados en el estudio se mostraron ser muy variables, según se puede observar en la tabla 4-4, pero siempre de una manera aleatoria y no mostrando una tendencia fija.

Tabla 4-4. Concentraciones, en [mg/L], y productividad en % de los sólidos totales y volátiles de operar un biodisco con agua de remojo proveniente del malteo (Solorio, 1987)

Día	SST			SSV		
	Influente	Efluente	Eficiencia	Influente	Efluente	Eficiencia
1	340	1128	231.8	230	832	261.7
3	328	1200	265.9	246	920	274.0
4	484	1112	129.8	328	846	157.9
8	560	1200	114.3	460	980	113.0
11	468	1100	135.0	380	868	128.4
17	724	842	16.3	648	728	12.3
18	630	1310	107.9	480	912	90.0
23	840	1030	22.6	580	910	56.9
31	840	1280	52.4	420	800	90.5
38	520	690	32.7	410	570	39.0
39	490	1420	189.8	370	1110	200.0
44	334	630	88.6	210	450	114.3
45	442	1200	171.5	330	880	166.7
52	530	880	66.0	390	730	87.2
53	450	850	88.9	370	660	78.4
58	350	430	22.9	250	430	72.0
60	230	1100	378.3	180	980	444.4
66	290	1140	293.1	196	860	338.8
67	650	1250	92.3	320	860	168.8

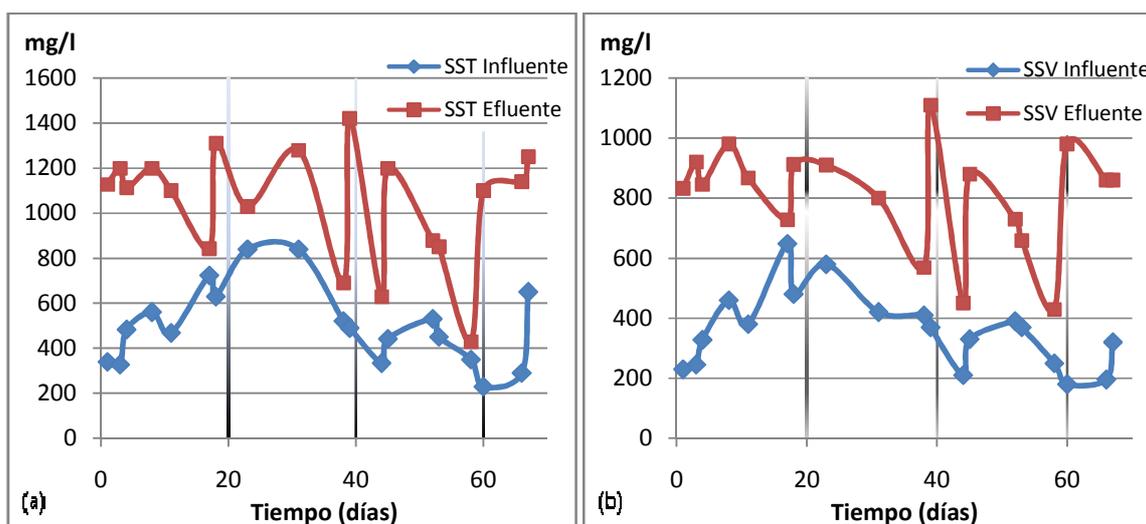


Figura 4-7. (a) Variación de los Sólidos Suspendedos Totales con respecto al tiempo, (b) Variación de los Sólidos Suspendedos Volátiles con respecto al tiempo.

- Variación en el pH y temperatura

Tabla 4-5. Variaciones en el pH y temperatura [°C] durante el tratamiento biológico de las aguas de remojo de la cebada

No.	Influente		Etapa I		Etapa II		Etapa III		Efluente	
	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T
1	6.9	22	7.4	20	7.6	20	7.6	19	8.2	21
2	6.8	21	8.7	20	8.8	20	8.8	20	8.8	20
3	6.7	20	8.7	20	8.7	20	8.7	20	8.7	21
4	6.2	20	8.5	19	8.6	19	8.6	19	8.7	20
5	5.8	21	8.7	19	8.8	19	8.9	19	8.8	21
6	6.4	18	8.6	18	8.6	18	8.7	18	8.7	19
7	6.7	24	8.4	19	8.4	19	8.4	19	8.6	20
8	6.2	22	8.4	20	8.5	20	8.5	19	8.6	21
9	6.4	20	8.5	18	8.5	18	8.6	18	-	20
10	6.4	20	8.4	19	8.6	19	8.3	19	-	-
11	6.3	20	8.5	18	8.5	18	8.5	18	8.6	19
12	6.5	20	8.6	18	8.6	18	8.6	18	-	-
13	6.4	17	8.7	18	8.7	17	8.8	17	8.6	18
14	6.4	17	8.2	16	8.2	16	8.2	16	8.6	17
15	5.8	23	8.3	15	8.4	16	8.5	16	-	-
16	-	-	8.2	16	8.2	15	8.3	16	-	-
17	6.3	20	8.2	16	8.3	16	8.3	16	8.5	17
18	6.2	-	8.3	-	8.4	-	8.6	-	8.6	-
19	8.5	11	8.5	11	8.5	11	8.6	-	8.7	-
x	6.5	19.8	8.4	17.8	8.5	17.7	8.5	18.1	8.6	19.5
σ	0.6	2.9	0.3	2.3	0.3	2.3	0.3	1.4	0.1	1.5

La tabla 4-5 incluye los datos referentes al pH y temperatura, tanto en el influente, como en cada una de las etapas y en el efluente; obteniéndose un pH promedio entre 8.41 y 8.62 entre la primera etapa y el efluente. El autor menciona que esta variación se encuentra dentro del rango apropiado para que los microorganismos aerobios cumplan adecuadamente su función (Benfield and Randall, 1980).

Por lo que se refiere a la temperatura, se observa una máxima de 24°C y una mínima de 11°C. Basándose en la bibliografía, el autor expresa que las temperaturas entre 13°C y 32°C no afectan el funcionamiento del sistema

(Antonie, 1976); no obstante, a 11°C no decrece notablemente el metabolismo del sistema biológico.

Conclusiones

Las conclusiones del autor son las siguientes:

Se obtuvieron eficiencias promedios e individuales superiores al 98% en el biodisco utilizado contra 73% en el filtro percolador para DBO₅ total y del 90% de DQO soluble en el biodisco, lo cual demuestra su mejor aplicabilidad a este propósito de tratamiento.

Se reportaron eficiencias de la remoción de DBO₅ similares a las obtenidas en el biodisco objeto de este estudio (Lines, 1974) por el proceso de lodos activados, pero a mayores costos de operación y problemas de producción excesiva de lodos para el tratamiento de aguas de desecho de malterías. En cuanto al empleo de filtros percoladores, además de que se tienen problemas de moscas, recirculación, operación y mantenimiento, entre otras, se obtienen menores eficiencias de remoción de materia orgánica.

El sistema mostró ser muy adecuado para el tratamiento de aguas de remojo de la cebada con tiempos de retención de hasta 24 horas, velocidades de rotación de 7 rpm, 40% de sumergencia de los discos y 23 m² de área superficial de contacto.

Según los criterios de Montgomery, los datos de eficiencia de remoción de sustratos orgánicos solubles fueron, para el biodisco, de una mejor calidad de control estadístico, que para un filtro percolador tratando las mismas aguas residuales de remojo

4.2.2. Uso de tecnología adecuada en un contactor biológico rotatorio para el tratamiento de aguas residuales²

En este estudio se presentan los resultados de una investigación experimental mediante a un modelo dinámico. Este modelo describe la remoción de sustratos usando un balance de materia sobre el canal y la película líquida, y difusión de sustrato y oxígeno en la película microbiana cuando se sumerge en aguas residuales y se expone al aire. Las predicciones del modelo son discutidas y comparadas con datos obtenidos del estudio de una planta piloto en UCLA.

Objetivos principales

Los objetivos de este documento fueron los siguientes:

- Desarrollar y evaluar un modelo matemático que describe el funcionamiento de un biodisco en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Comparar y evaluar la eficiencia de un sistema de tratamiento CBR con otro tipo de sistemas.

Descripción del experimento

Según el autor la planta piloto de biodiscos fue adquirida a Autotrol Corporation en Milwaukee, Wisconsin en junio de 1978 siendo de características semejantes al descrito anteriormente, sólo para este estudio el biodisco cuenta con cuatro etapas de 9 discos cada una.

El autor menciona también que antes de empezar con la recolección de datos, se dejó funcionar el biodisco durante tres semanas para asegurarse de que el crecimiento de los microorganismos en los discos fuera estable. Después de este tiempo, la primera etapa fue completamente cubierta por una capa de biopelícula café y el efluente era claro. La recolección de datos empezó al principio de la cuarta semana, sin embargo, la biopelícula comenzó a

²*Use of the Rotating Biological Contactor for Appropriate Technology Wastewater Treatment*". Rex T. Chan & Michael K. Stenstrom. University of California, Los Angeles 1979

desprenderse. El color de la biopelícula era cada vez más claro, y después de pocos días, sólo una delgada capa se encontraba en los discos. Después de contactar al Departamento de Recreación Universitaria, se encontró que la alberca universitaria fue drenada debido a que muchos nadadores tenían alguna infección en los ojos, lo cual indicaba una contaminación de la alberca. Se llegó a la conclusión de que la alteración en el biodisco fue debido a la mezcla de la gran cantidad de cloro contenida en la alberca con el agua residual usada en la investigación. Esto llevó a comenzar desde el principio, posponiendo la recolección de datos dos semanas, hasta que se tuviera una biopelícula más gruesa en los discos. En la sexta semana se comenzó con las pruebas. Se recolectaron distintos tipos de datos en este experimento. La información sobre amoníaco, pH y nitrato fue recaudada 5 días a la semana; DBO₅, DQO y SST 2 días a la semana; nitrato y fosfato sólo se encontró suficiente recolectarlo 2 veces. La temperatura se mantuvo entre los 13°C y 30°C durante todo el experimento.

Para la DBO₅ se usó un instrumento desarrollado por Yellow Spring para medir el oxígeno disuelto (OD) inicial y final. Antes de cada medición, el instrumento era calibrado con agua oxigenada y el OD se encontró usando el método de Winkler (Standard Methods).

Para el pH se usó un potenciómetro modelo Corning 12, para el amoníaco y nitrato se utilizó un Orion Research 407A con un electrodo específico de iones, para DQO, se usó el método de dicromato de potasio (Método 508), para SST (Método 208A), para el nitrato se usó el método calorimétrico (Método 420) y para el fosfato se utilizó el método de cloruro de estaño (Método 425C III y 425E).

Presentación y análisis de resultados

Los estudios se llevaron a cabo a lo largo de tres meses en la planta piloto, algunos de los parámetros medidos fueron los siguientes:

- Demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅ (Figura 4-8)
- Demanda química de oxígeno, DQO (Figura 4-9)
- Sólidos suspendidos totales, SST (Figura 4-10)
- Amoníaco-nitrógeno, NH₄-N (Figura 4-11)

- pH (Figura 4-12)
- Nitrito-nitrógeno, NO₃-N (Figura 4-13)

Las pruebas del influente fueron tomadas desde el tanque de agua residual proveniente del alcantarillado del boulevard Westwood en el campus de UCLA. El tanque se usó como un sedimentador primario con el fin de asegurar que todos los sólidos grandes se encuentren al fondo del tanque. Las muestras de las etapas fueron recolectadas desde el biodisco. Con el fin de estudiar el efecto de clarificación del efluente del biodisco se usó un embudo de 8'' de diámetro como clarificador.

La DBO₅ fue medida dos veces a la semana, se usó la misma muestra para la determinación de la DQO y SST. La DBO₅ en el influente tuvo un valor promedio de 150 mg/l que se considera un valor bajo en aguas residuales domésticas. La concentración de DBO₅ en la primera etapa tuvo un valor promedio de 30 mg/l, indicando una reducción del 80%, la concentración de DBO₅ posteriores fueron 15 mg/l, 10 mg/l, 7 mg/l y 3 mg/l, obtenidos en las etapas segunda, tercera, cuarta y en el efluente respectivamente. Ya que la tasa de carga fue baja el sistema tuvo sustrato limitado y no se pudo desarrollar la biopelícula completamente en las etapas finales. La tasa de carga fue de 1 galón/hora/ft² (0.0407 m³/hora/m²), con un tiempo de retención de 37 horas, ya que el biodisco tenía un volumen total de 37 galones (0.140 m³).

Tabla 4-6. Concentraciones de DBO₅ (mg/L) en diversos puntos del sistema

Días	Influente	Etapas I	Etapas II	Etapas III	Etapas IV	Efluente clarificado
1	51.0	24.0	23.0	18.7	11.7	10.0
7	185.0	29.5	19.1	14.8	12.6	6.8
9	129.2	36.1	29.9	22.5	13.0	7.9
14	180.1	34.6	21.3	15.1	7.0	4.2
16	147.5	47.6	28.6	18.2	13.5	4.3
21	176.1	33.7	22.4	12.9	11.4	3.3
23	119.9	28.3	23.8	13.9	12.2	1.5
28	148.6	43.4	23.7	18.3	8.9	2.2
30	240.0	46.1	20.9	12.9	8.0	1.6
34	93.4	31.3	19.2	13.0	7.0	1.3
42	114.7	16.3	8.4	5.5	4.1	1.1

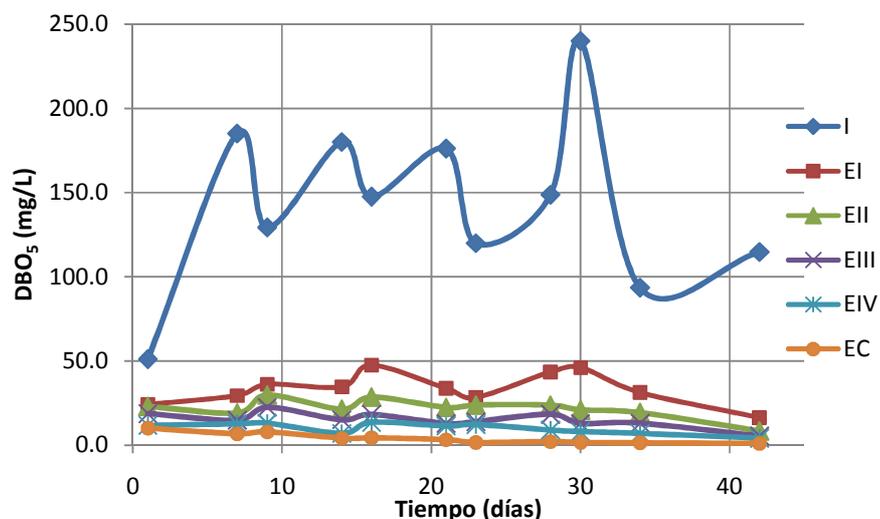


Figura 4-8. Concentración de DBO₅ en varias etapas con respecto al tiempo.

Las pruebas de DQO fueron obtenidas de las mismas muestras que las de DBO₅, comúnmente las muestras fueron almacenadas en un refrigerador por un día debido a que no se contaba con el tiempo suficiente para realizar ambas pruebas el mismo día. Se recolectó información de la DQO en el influente, efluente, efluente clarificado y efluente soluble, con el fin de comparar con los datos de DBO₅. Si existe una relación entre estos dos parámetros, es posible sólo recolectar información de la DQO y estimar la DBO₅ de ésta, lo que ahorraría el tiempo largo de prueba de la última. En este caso, la relación DQO/DBO₅ varía entre 1.5 y 2.5.

Tabla 4-7. Concentraciones de DQO (mg/L) a la entrada y salida del sistema

Días	Influente	Efluente		
		Total	Clarificado	Soluble
5	350.0	89.3	46.3	17.9
7	387.0	79.4	25.8	13.9
9	231.2	86.8	37.7	24.5
14	402.0	57.0	38.0	24.7
16	300.0	86.8	37.7	26.4
21	429.1	39.4	27.6	19.7
23	261.7	85.2	36.5	24.3
28	310.1	59.1	39.4	23.6
30	396.3	51.6	27.5	20.5
34	159.5	38.9	3.9	3.0
42	264.7	33.1	13.6	13.6

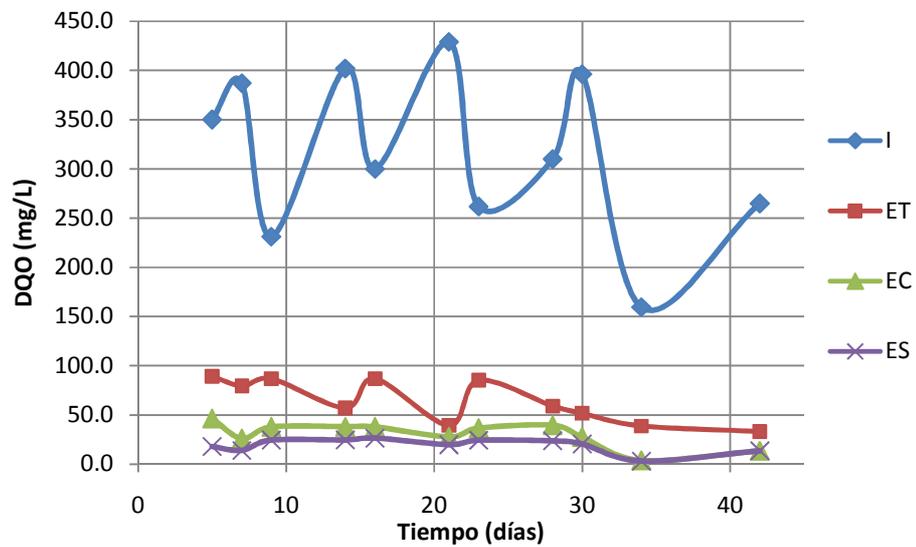


Figura 4-9. Variación de concentración de DQO en varias etapas con respecto al tiempo

Con respecto a los SST se encontró que el biodisco redujo desde una concentración promedio de 73 mg/l hasta 32 mg/l, representando una reducción del 56%. Esta reducción de sólidos presenta una ventaja ya que el manejo de lodos es muy costoso. Las pruebas también se hicieron en el efluente clarificado una hora después de que sedimentara y se encontró que el 98% de los sólidos e habían precipitado, dejando sólo de 1% a 2% de sólidos, con una concentración promedio de 5.4 mg/l suspendidos en el efluente.

Tabla 4-8. Concentraciones de SST (mg/L) en dos puntos del sistema

Días	Influyente	Efluente	
		Total	Clarificado
5	49.7	51.8	23.5
16	90.0	55.5	2.3
21	93.9	26.5	6.1
22	78.0	40.8	4.5
28	88.5	29.5	2.1
29	70.9	27.2	4.3
30	80.6	25.9	2.9
34	53.7	21.5	1.5
42	54.1	9.6	1.1

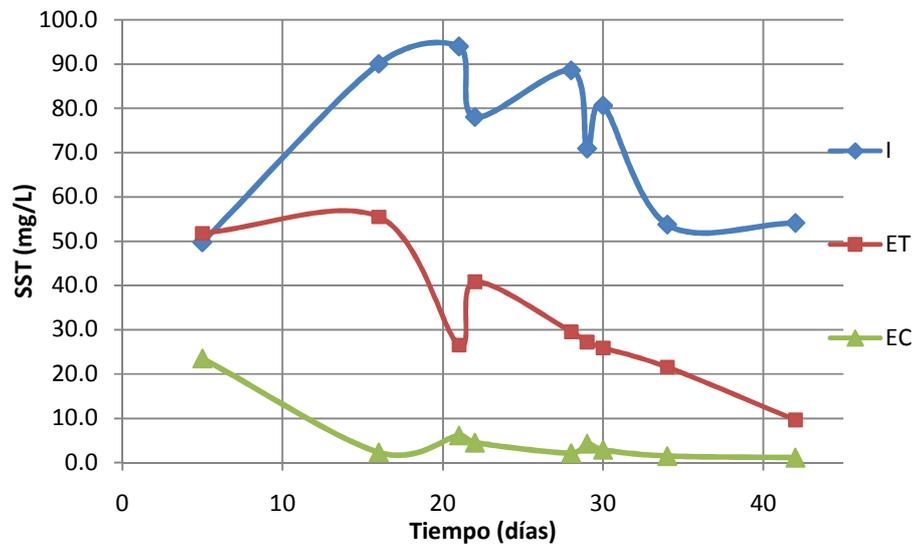


Figura 4-10. Concentración de SST en varias etapas con respecto al tiempo

La información obtenida sobre el amoníaco-nitrógeno y nitrato-nitrógeno muestra que el agua residual contiene grandes cantidades de nitrógeno orgánico. El amoníaco-nitrógeno tuvo un incremento de más del 100% después de que el agua residual estuviera en el tanque por 23 horas. Durante ese tiempo, el nitrógeno orgánico se transformó en amoníaco-nitrógeno anaerobiamente debido a la falta de oxígeno. En el biodisco, la nitrificación fue completa después de la primera etapa. La concentración de nitrato-nitrógeno se mantuvo casi igual a través del resto de las etapas. Cuando el amoníaco fue nitrificado a nitrato, iones de hidrógeno fueron emitidos al cuerpo líquido, bajando así el pH del mismo. En este experimento el agua residual tuvo una concentración alta de amoníaco, por lo que el control de pH se basó en evitar el descenso de pH en el efluente por debajo de 6 (pH mínimo para descargas) usando carbonato de sodio como regulador de pH.

Tabla 4-9. Concentraciones de NH₄-N (mg/L) en varios puntos del sistema

Días	Influente	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV
1	15.98	4.00	0.20	0.20	0.20
4	31.71	4.94	3.62	2.26	2.02
5	18.45	0.99	0.20	0.20	2.20
6	39.04	2.85	1.62	1.55	1.40
8	24.54	0.74	0.20	0.20	0.20
9	42.74	1.32	0.20	0.20	0.20
12	25.20	1.40	0.20	0.20	0.20
13	35.25	1.33	0.20	0.20	0.20
14	32.94	1.73	0.20	0.20	0.20
15	44.14	2.64	0.20	0.20	0.20
16	43.65	4.20	0.49	0.20	0.20
21	37.55	9.55	1.40	0.20	0.20
22	34.01	0.99	0.20	0.20	0.20
23	38.05	1.15	0.20	0.20	0.20
26	20.75	0.58	0.20	0.20	0.20
27	45.54	7.41	4.04	1.07	0.20
28	44.80	1.24	0.20	0.20	0.20
29	30.39	0.58	0.20	0.20	0.20
30	36.81	1.04	0.20	0.20	0.20
33	46.28	1.03	0.20	0.20	0.20
34	49.00	1.82	0.20	0.20	0.20
35	33.60	2.55	0.33	0.20	0.20
40	20.01	1.56	0.20	0.20	0.20
41	32.45	0.96	0.20	0.20	0.20
42	28.00	2.59	0.38	0.20	0.20

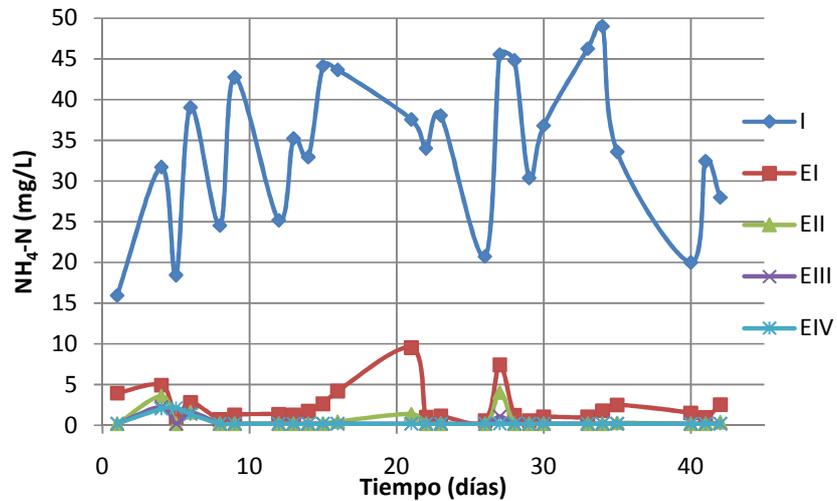


Figura 4-11. Concentración de NH₄-N en varias etapas con respecto al tiempo

Tabla 4-10. Valores de pH

pH	Influente	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV
1	8.45	7.15	6.68	5.72	5.45
4	7.10	6.70	5.80	5.30	5.28
5	7.65	6.85	6.30	5.55	5.25
6	7.40	6.80	6.20	5.60	5.10
8	7.30	7.77	8.30	8.40	8.39
9	8.30	7.40	7.85	8.05	8.10
12	7.84	7.63	8.09	8.19	8.21
13	8.40	7.61	8.03	8.25	8.19
14	7.62	7.19	7.28	7.76	7.92
15	7.52	6.78	6.71	7.03	7.30
16	8.41	6.88	6.67	6.97	6.99
21	8.10	7.53	7.35	7.62	7.82
22	6.96	7.23	7.61	7.84	7.84
23	8.12	7.31	7.75	7.88	7.84
26	7.25	7.31	7.55	7.66	7.71
27	8.19	6.80	6.24	6.26	7.36
28	7.64	8.17	8.16	7.89	7.84
29	7.84	7.36	7.89	8.09	8.10
30	8.28	6.50	6.70	7.53	7.84
33	8.28	6.55	7.27	7.61	7.55
34	8.61	7.08	7.78	7.89	7.75
35	7.97	6.44	6.75	7.27	7.56
40	8.17	7.42	8.09	8.14	8.06
41	8.36	6.58	7.74	8.08	8.14
42	7.88	6.17	6.24	7.15	7.61

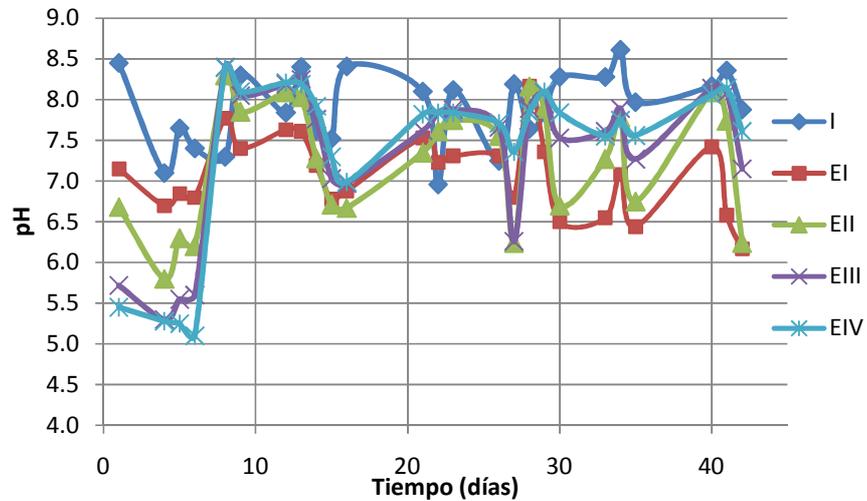


Figura 4-12. Valores de pH registrados a lo largo del experimento

Tabla 4-11. Concentraciones de NO₃-N (mg/L)

Días	Influyente	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV
1	0.65	29.49	32.00	32.00	32.00
4	0.20	4.97	5.53	5.65	5.76
5	0.34	22.83	30.01	34.30	36.83
6	0.20	37.51	42.99	42.99	41.01
8	0.86	28.70	37.53	38.07	41.30
9	2.08	39.47	42.27	39.47	38.50
12	0.56	25.63	30.10	31.77	34.44
13	0.88	33.87	34.73	33.87	33.33
14	3.16	32.90	37.10	37.10	38.07
15	3.30	39.20	43.40	42.00	40.60
16	2.60	42.00	49.70	49.00	46.47
21	0.72	43.13	42.70	42.70	42.70
22	0.68	36.13	40.17	41.57	43.67
23	0.86	38.03	42.70	42.70	43.67
26	0.59	21.84	26.60	31.50	34.30
27	0.65	36.40	39.90	37.53	34.73
28	0.75	45.07	50.13	49.70	47.33
29	0.54	37.10	43.40	49.00	51.80
30	0.50	39.90	45.50	46.20	48.30
33	1.13	50.40	51.10	51.10	51.10
34	0.77	51.10	55.30	54.60	53.90
35	0.63	39.47	44.80	49.70	53.76
40	0.88	24.93	24.93	28.00	30.80
41	0.65	46.90	49.70	42.70	36.13
42	0.77	38.64	43.40	46.90	46.90

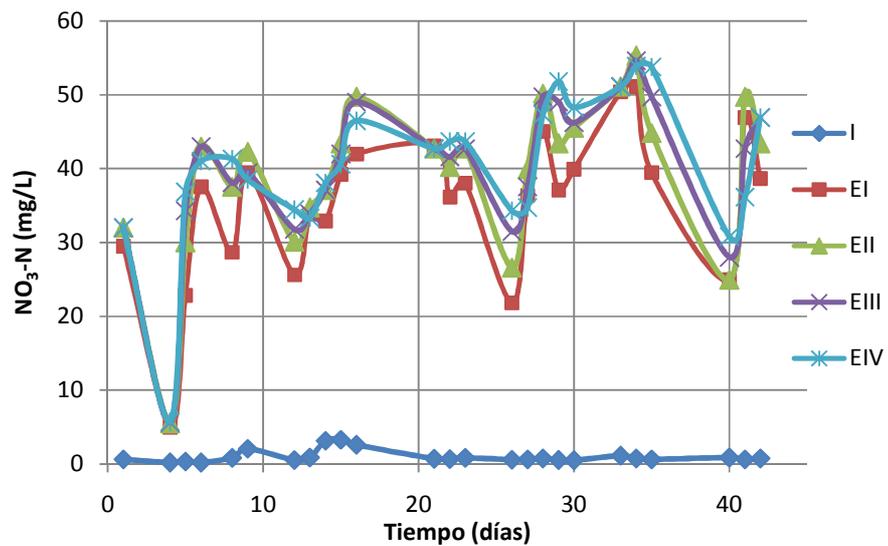


Figura 4-13. Concentración de NO₃-N en varias etapas con respecto al tiempo

En lo que se refiere al análisis de nitrito-nitrógeno el autor encontró que sólo había una cantidad pequeña presente en la primera etapa del biodisco, para el resto de las etapas era casi inexistente.

La prueba de oxígeno disuelto se realizó dos veces para determinar cuánto oxígeno se encontraba presente en las diferentes etapas. El promedio de la concentración de oxígeno en la primera etapa fue de 6 mg/l, para las etapas restantes los valores estaban en el rango de 8 mg/l y 9 mg/l.

El rango de la temperatura ambiente fue entre 22°C y 27°C, mientras que la temperatura del biodisco fue entre 16°C y 19°C, esta reducción de temperatura fue debido a la evaporación del agua en el biodisco.

Conclusiones de las pruebas en el prototipo

El sistema de biodiscos es un eficiente método para el tratamiento de aguas residuales debido a su simplicidad en la operación y mantenimiento, bajo consumo de energía, capacidad de soportar cargas tóxicas instantáneas, libre de olores y buenas características de lodos.

La energía de consumo de un biodisco es igual o menor que la aereación de las plantas de lodos activados, y requiere menor mantenimiento y conocimientos de operación.

Para una planta de tratamiento pequeña, el costo capital del biodisco es menor que una planta de lodos activados; por tanto, el sistema de biodiscos presenta un ahorro para pequeñas comunidades.

Según el autor el modelo matemático desarrollado en su documento demostró ser bastante exitoso. Dicho modelo no es objeto de estudio de este trabajo, por lo que nos limitaremos a presentar las conclusiones del mismo con respecto a esto.

Debido a las bajas tasas de carga del agua residual, la biopelícula se desarrolló sólo en la primera etapa, por lo que sólo se utilizó la información de ésta para compararla con el modelo. La reducción de la carga inicial del influente de DBO₅ de 250 mg/l fue prevista por el programa a 49 mg/l, una reducción del 84%. El valor promedio de DBO₅ en la primera etapa en los 42 días fue de 33.7 mg/l, con una reducción del 86.5%. La diferencia entre el valor experimental y el matemático fue de 2.5%. Debido a que no se cuenta con otras tasas de carga no fue posible verificar el modelo variando este parámetro.

5. PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

5.1. Objetivo e hipótesis

El objetivo de este capítulo es describir el procedimiento básico a seguir para la puesta en marcha de la planta prototipo, tomando en cuenta los criterios de diseño anteriormente presentados y las experiencias reportadas en el Capítulo 4. Se consideran las siguientes condiciones del experimento:

- El agua residual generada en el del edificio de la DICyG es de tipo doméstico
- El funcionamiento del sistema será continuo y sin interrupciones
- No se contará con tratamiento de lodos

5.2. Alcances

Se pretende que el presente documento sirva como manual de diseño, operación y mantenimiento para un sistema de biodiscos económico y de alta eficiencia, como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas en los edificios que no cuentan con sistema de alcantarillado público. Al mismo tiempo, se planea usar el prototipo con fines didácticos en el área de ingeniería ambiental, utilizando este sistema de tratamiento con el fin de fortalecer la formación de los alumnos de ingeniería civil y del programa de especialización en Ingeniería Sanitaria.

5.3. Metodología para el desarrollo del experimento

En este apartado se describe el procedimiento de diseño de la planta prototipo, los conocimientos básicos de operación y mantenimiento y los problemas más comunes en este tipo de sistemas.

5.3.1. Diseño del biodisco

En el Capítulo 3 de este trabajo se menciona el uso de curvas empíricas de carga suministradas por los fabricantes. En este caso no se cuenta con dicha

curvas, por lo que se usarán las fórmulas mostradas en el mismo capítulo, sabiendo que la única manera de conocer su aproximación será con las pruebas realizadas al sistema.

Para el diseño de un biodisco se debe conocer el gasto, la DBO en el influente y la DBO del efluente deseada, así como la DBOs de entrada y la temperatura media. Con estos parámetros conocidos se hace uso de la fórmula (3.5).

En este caso se aplicará la ecuación (3.1) debido a que se conoce el área superficial, y se supondrá un valor de DBO de 250 mg/L con una relación de DBOs/DBO = 0.5 en el influente.

Para la determinación del gasto se realizaron mediciones de descargas de agua residual en la DICyG (Anexo A) obteniéndose un gasto promedio de 1.2 m³/d, mismo que comparándose con la capacidad máxima del biodisco resulta ser menor (1.2 m³/d < 6.15 m³/d). Con estos datos se puede estimar la remoción de DBO de la siguiente forma:

Datos:

$$A_{\text{Total}} = 23 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.2 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$S_0 = 125 \text{ mg/L}$$

Según el arreglo mostrado en el capítulo 4, para la 1ª etapa se tiene:

$$A_1 = \frac{A_T}{2} = \frac{23 \text{ m}^2}{2} = 11.5 \text{ m}^2$$

sustituyendo los datos en la ecuación (3.1)

$$S_n = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{A_s}{Q}\right) S_{n-1}}}{(2)(0.00974) \left(\frac{A_s}{Q}\right)} \quad (3.1)$$

$$S_1 = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{11.5}{1.2}\right) 125}}{(2)(0.00974) \left(\frac{11.5}{1.2}\right)} = 30.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Para la 2ª etapa se tiene:

$$A_{2,3} = \frac{A_T}{2} = \frac{23 \text{ m}^2}{4} = 5.75 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{5.75}{1.2}\right) 30.9}}{(2)(0.00974) \left(\frac{5.75}{1.2}\right)} = 17.15 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Por último en la 3ª etapa:

$$S_3 = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{5.75}{1.2}\right) 17.15}}{(2)(0.00974) \left(\frac{5.75}{1.2}\right)} = 11.25 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{125 - 11.25}{125} * 100 = 91 \%$$

Como se puede observar, según la fórmula (3.1) la remoción de DBO será de aproximadamente el 91 %, lo que representa una alta eficiencia en relación con este parámetro.

Cabe mencionar que no se pretende tener un tratamiento de nitrificación, por lo que se considera que el prototipo es más que suficiente para tratar un caudal de 1.2 m³/d, si éste varía debe seguirse el mismo procedimiento para calcular la remoción de DBO.

Se revisarán los valores que se tienen tomando en cuenta los criterios de la CNA (tabla 3-2).

Carga Orgánica:

DBO ₅ de proyecto =	250 [mg/L] (se obtiene experimentalmente)
DBO ₅ recomendada:	480 [mg/L] – 9610 [mg/L] (sin nitrificación)
DBO ₅ recomendada:	240 [mg/L] – 320 [mg/L] (con nitrificación)

Carga Hidráulica:

Carga hidráulica del proyecto:

$$CH = \frac{Q}{A} = \frac{1200 \left[\frac{L}{d} \right]}{23[m^2]} = 52.18 \left[\frac{L}{m^2} \right]$$

Carga hidráulica recomendada: **30.6 [L/d/m²] – 61.1 [L/d/m²]** (sin nitrificación)

Tiempo de retención:

Debido a que no se rebasa la capacidad del biodisco se obtendrá el tiempo de retención de la siguiente manera:

$$T_r = \frac{Q \left[\frac{L}{d} \right]}{24 \left[\frac{h}{d} \right]} = \frac{1200 \left[\frac{L}{d} \right]}{24 \left[\frac{h}{d} \right]} = 50 \left[\frac{L}{h} \right]$$

Para homogeneizar unidades y poder comparar con los criterios de la CNA se divide entre el área superficial:

$$\frac{50 \left[\frac{L}{h} \right]}{23[m^2]} = 2.17 \left[\frac{L}{m^2} \right] = 2.17 \left[\frac{L}{m^2 h} \right]$$

La CNA basa este concepto en 0.12[gal/pie²], por lo que se sigue el siguiente procedimiento:

$$0.12 \left[\frac{gal}{pie^2} \right] * \frac{3.785[L]}{1[gal]} * \left(\frac{1[pie]}{0.3048[m]} \right)^2 = 4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]$$

Para este valor se recomienda entre 0.67 [h] y 2 [h], por lo que expresado en otras unidades es:

$$\frac{4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]}{0.67[h]} = 7.30 \left[\frac{L}{m^2 h} \right]; \quad \frac{4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]}{2[h]} = 2.44 \left[\frac{L}{m^2 h} \right] \quad (\text{sin nitrificación})$$

$$\frac{4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]}{1.5[h]} = 3.26 \left[\frac{L}{m^2 h} \right]; \quad \frac{4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]}{4.17[h]} = 1.17 \left[\frac{L}{m^2 h} \right] \quad (\text{con nitrificación})$$

Tomando en cuenta los conceptos anteriores se puede esperar que se logre un poco de nitrificación debido a que el tiempo de retención se encuentra entre los valores con nitrificación fijados por la CNA al igual que la carga orgánica. Es importante mencionar que los resultados indican que las características del

sistema de CBR que se va a emplear son las adecuadas para lograr un tratamiento a nivel secundario.

5.3.2. Operación y mantenimiento

Estabilización del sistema

Para lograr una estabilización del sistema es necesario remontarse al tiempo en que el mismo va a empezar a operar. Una vez que se arranca el sistema, al tercer o cuarto día se podrá observar que la película biológica ha comenzado a formarse. Después de 2 o 3 semanas la película adquiere un color entre café y gris, aproximadamente se requiere de 2 o 3 semanas más para que las bacterias nitrificantes aparezcan en las últimas etapas del biodisco. Una vez estabilizado el sistema la planta operará durante largos periodos de manera ininterrumpida, para lo cual es necesario operarla adecuadamente.

Mantenimiento

La operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento a base de biodiscos juega un papel importante en la vida útil del equipo por lo que debe ser bien ejecutado para evitar problemas como el desprendimiento excesivo de biopelícula o, peor aún, el paro completo del sistema.

Una de las actividades diarias de control y los parámetros más importantes para controlar un proceso de discos biológicos es la inspección del equipo. Es recomendable que diariamente se lleve a cabo la siguiente rutina para mantener el equipo en óptimas condiciones de operación:

- Observar que la caja del balero de la flecha no se sobrecaliente, con la ayuda de un termómetro verifique que no exceda de los 93° C, si esto ocurre se tendrá que cambiar la pieza.
- Verificar que la flecha esté bien alineada, al igual que no existan ruidos anormales en el rodamiento del motor que mueve la flecha del reactor biológico.
- Revisar que los motores no tengan calentamientos anormales.

- Si existen derrames alrededor del sistema motriz y de la flecha principal, se deberán revisar los niveles de aceite del reductor de velocidad y del sistema de la cadena motriz.
- Revisar que no existan daños en los empaques o sellos.
- Verificar que la cadena motriz esté bien alineada y ajustada.
- Revisar la tensión de las bandas y,
- Mantener limpia el área de trabajo.

Problemas de operación

Durante las dos primeras semanas de operación es normal que se presenten desprendimientos, debido a que es una etapa de aclimatación de los organismos a la superficie del medio. Si los desprendimientos son severos durante o después del periodo de estabilización es posible que exista una escasez de nutrientes o presencia de tóxicos que motiva una inestabilidad en la adherencia. Si esta situación se presenta, es necesario investigar mediante pruebas de laboratorio la causa del problema y encontrar la solución adecuada.

Cuando se presente una excesiva acumulación de lodos en el tanque, se recomienda vaciarlo para determinar el tipo de sólido existente y poder llevar a cabo la mejor solución posible. Las fallas de energía eléctrica afectan severamente el funcionamiento de un sistema de biodiscos; si la falla es por más de 4 horas, la flecha del medio se debe girar $\frac{1}{4}$ de vuelta por lo menos dos veces al día para evitar una gran acumulación de crecimiento biológico en la parte baja del disco, se debe rociar agua constantemente sobre el crecimiento biológico que no está sumergido para mantener la biomasa húmeda y evitar desprendimientos; en caso de que la falla sea por más de 12 horas ocurrirá un desprendimiento normal de la biomasa cuando la unidad sea puesta en funcionamiento nuevamente, si el desprendimiento es excesivo deberán recircularse los lodos del sedimentador secundario para reponer la biomasa y de no ser posible se tendrá que esperar el tiempo necesario para que se establezca el sistema.

5.4. Montaje

5.4.1. Ubicación y diseño de la planta prototipo

La División de Ingeniería Civil y Geomática cuenta con un jardín con acceso desde el exterior, en la cual se encuentra el registro del albañal de las aguas residuales generadas en este edificio. El espacio es suficiente y permite un control de seguridad debido a que es un lugar rodeado por el mismo edificio y una barda lateral paralela al circuito interior de la universidad.

El tratamiento de estas aguas residuales será de la siguiente forma: Los baños descargarán al registro ubicado en el jardín antes mencionado, éste se comunicará con un tanque que almacenará las aguas residuales con el fin de poder bombearlas hacia otro tanque de sedimentación primaria ubicado en la parte exterior sobre una base de altura mínima de un metro, posteriormente pasará al sistema de biodiscos donde se tendrá el tratamiento principal, al salir de este sistema ingresará a un tanque, el cual servirá como sedimentador secundario permitiendo el reúso. El arreglo del sistema se muestra en la figuras 5-1 a 5-3.

Para un funcionamiento ideal se recomienda la construcción de un espacio cerrado y techado para el biodisco que evitará la entrada de materia externa al sistema (polvo, hojas, tierra, etc.). Se dispondrá de una caseta para este fin. El tamaño de los tanques está en función del caudal que se va a tratar, en este caso se estima que es de $1.2 \text{ m}^3/\text{d}$. Cabe mencionar que la bomba a utilizar proporciona un gasto de 4.8 L/s para una altura entre 2 y 3 metros, además, cuenta con una potencia de 0.5 H.P., pudiendo alcanzar alturas de hasta 70 pies (21.3 m) con un gasto de 13 GPM (0.83 LPS). Debido a que el tanque de almacenamiento se encuentra por debajo del nivel del suelo se propone el uso de un electronivel EC01 de la empresa CEISA o similar, cuya función es la de regular el funcionamiento de la bomba con base en los niveles de agua tanto en la cisterna como en el tanque y su instalación es sencilla, se pueden ver las características de este equipo y de la bomba en los Anexos B y C.

Es importante mencionar que se debe contar con una estructura en la salida de la bomba que funcione como tranquilizador o disipador de energía, lo que evitará el levantamiento de sedimentos en el tanque permitiendo la salida continua del efluente, es decir un gasto medio de 0.014 L/s.

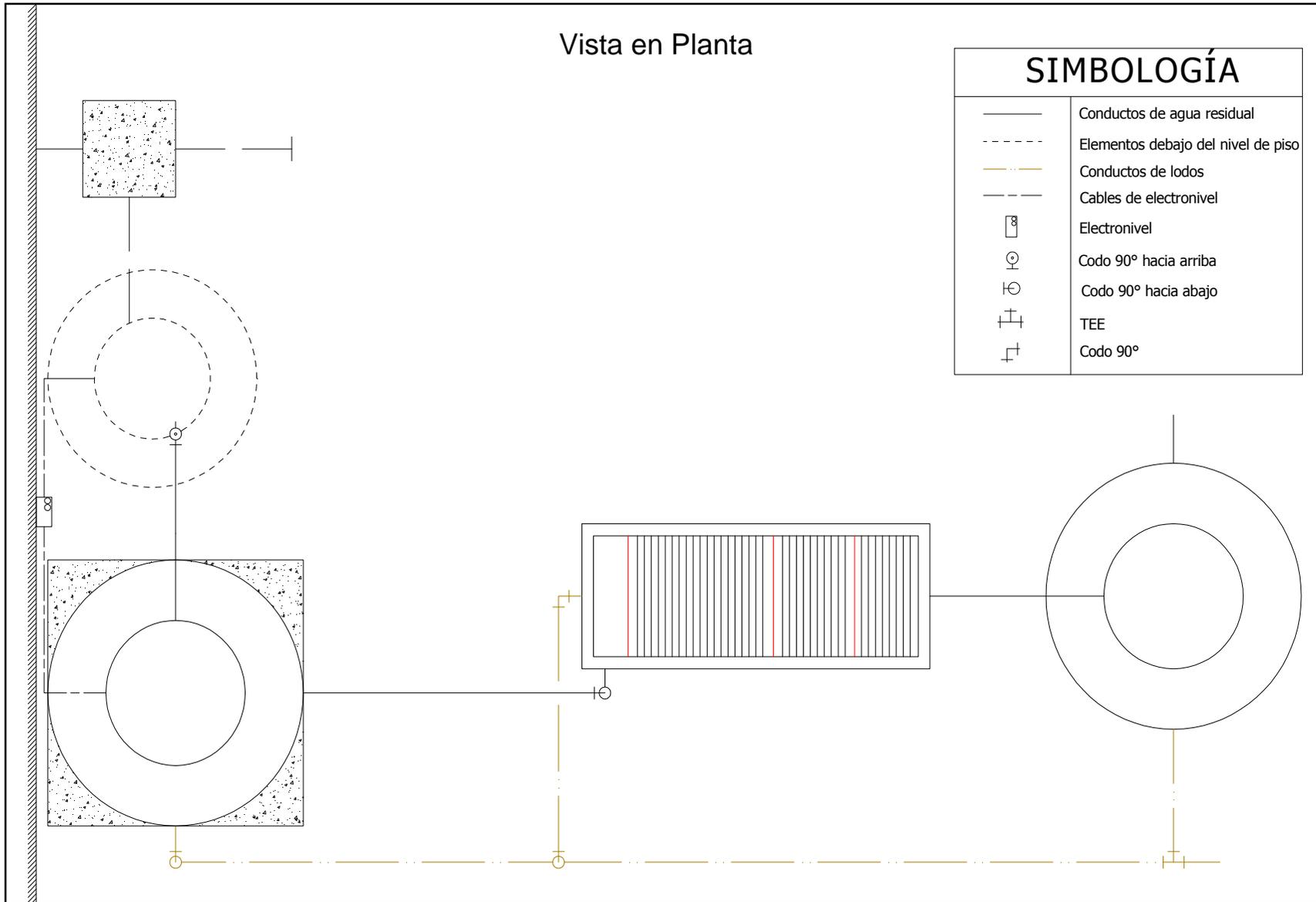


Figura 5-1 Vista en planta del sistema de tratamiento a base de CBR

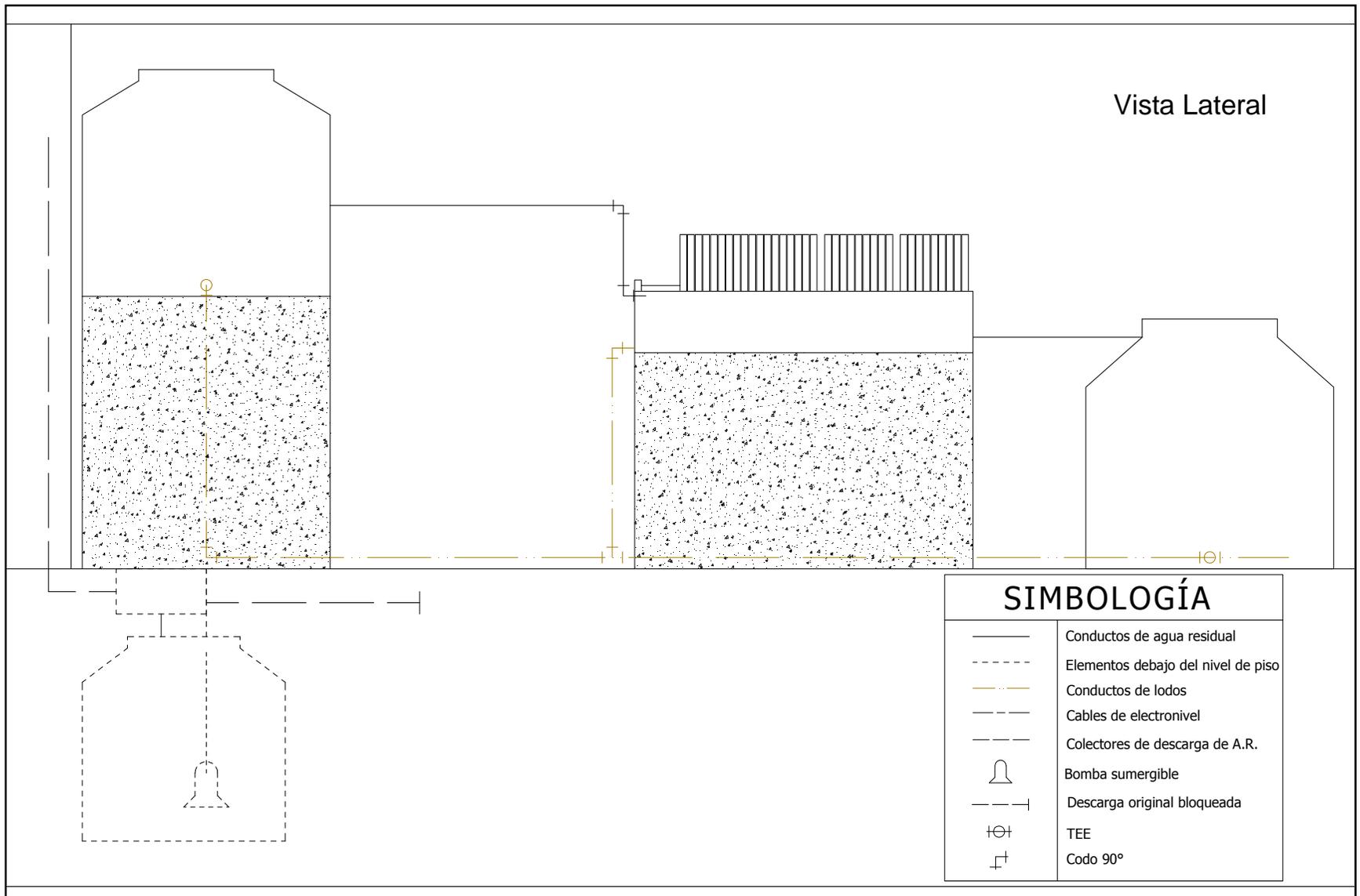


Figura 5-2. Vista lateral del diseño del sistema de tratamiento a base de CBR

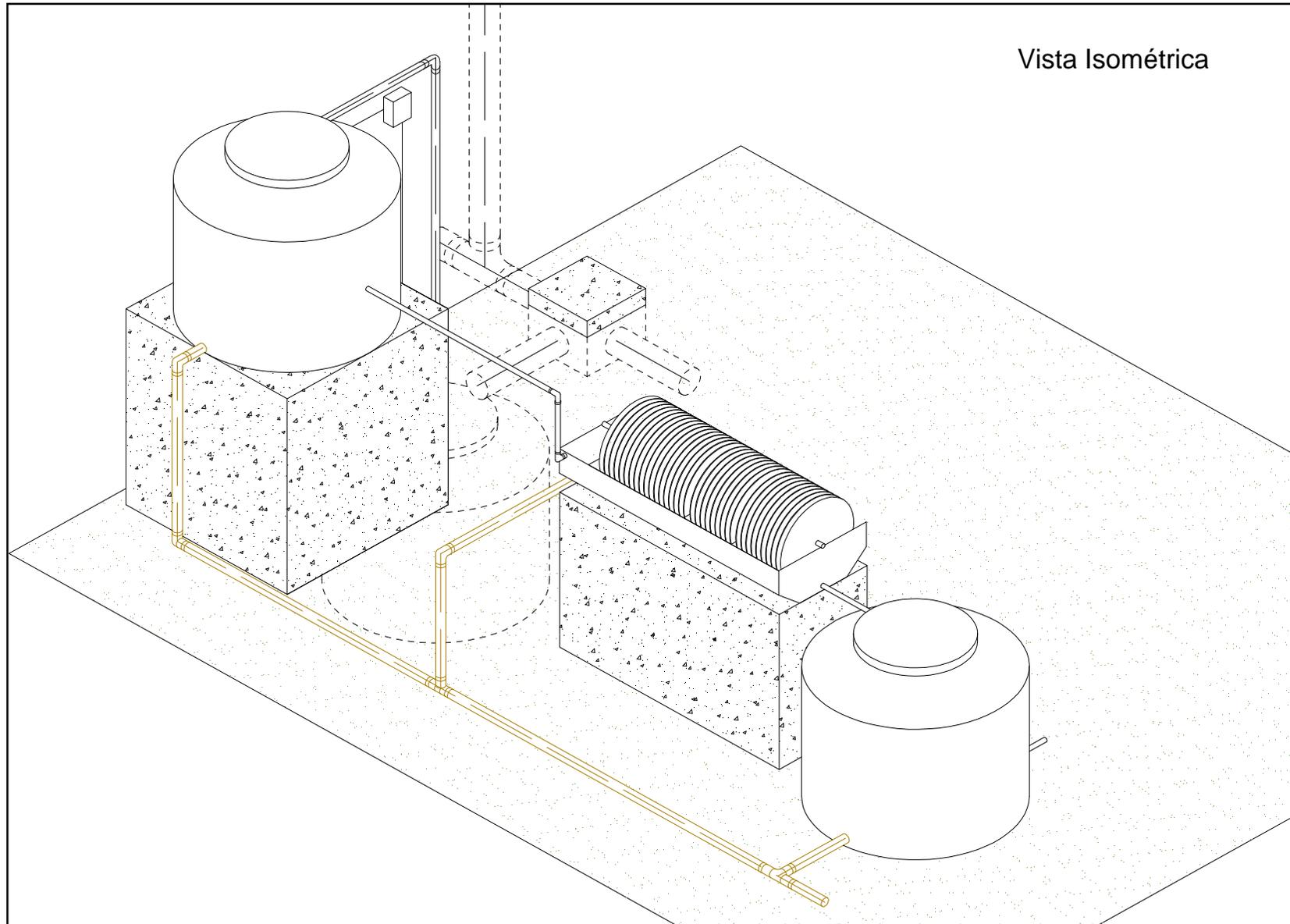


Figura 5-3. Vista en isométrico del diseño del sistema de tratamiento a base de CBR

Por el momento no se pretende dar un tratamiento a los lodos generados por lo que serán transportados a la planta de tratamiento de aguas residuales del campus localizada en Av. Cerro del Agua y serán descargados con los lodos de dicha planta a la red de alcantarillado pública.

5.5. Pruebas del prototipo

Los parámetros que se manejarán en el estudio de la planta prototipo propuesta son los siguientes: DBO₅, DQO, SST, pH y Temperatura, los cuales servirán para comparar resultados con los modelos mostrados anteriormente. Para esto es necesario dar a conocer los métodos de análisis a utilizar para cada uno de ellos, así como la planeación de la obtención de muestras a lo largo del proyecto.

5.5.1. Técnicas de análisis

Los análisis de los parámetros mencionados anteriormente se efectuarán de acuerdo con los métodos estandarizados (Standard Methods, 20^a edición) y a algunas normas mexicanas donde se muestra toda la información necesaria para determinar el valor de cada uno de los parámetros.

Para la DBO₅ la prueba debe efectuarse el mismo día de obtención de la muestra con el fin de evitar alteraciones en los resultados, el método recomendado es el 5120 B (Standard Methods). Las muestras deben ser tomadas diariamente, al igual que su análisis, para obtener un valor promedio lo más aproximado posible al real.

Para los SST se utiliza la misma muestra obtenida para determinar la DBO utilizando la norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001, realizándose la prueba de manera constante y con la misma frecuencia que el parámetro anterior.

Se recomienda que las pruebas de DQO se realicen diariamente, aunque esto podría implicar la disposición de más recursos humanos debido a que con este parámetro sumarían un total de 3 métodos realizados el mismo día. El método recomendado es el llamado dicromato de potasio, correspondiente al número 5220 B (Standard Methods).

Por último, en cuanto al pH y temperatura se puede hacer uso de cualquier instrumento de medición disponible en laboratorio para su determinación, la frecuencia puede ser la misma que los anteriores parámetros ya que no demandan de un procedimiento extenso.

6. CONCLUSIONES

La planeación y el diseño del sistema de tratamiento a base de biodiscos muestra el equipo necesario para su funcionamiento básico y cuenta con la posibilidad de ampliar el nivel de tratamiento y/o su capacidad, permitiendo nuevas instalaciones.

Las técnicas de análisis presentadas en este trabajo son las más comunes y la aplicación de algunas de ellas tienen lugar en la formación que imparte la Facultad de Ingeniería, por lo que se espera que se desarrollen sin grandes dificultades.

Debido al constante bombeo y a que éste provoca turbulencia en el taque al cual descarga, se recomienda la utilización de algún tipo de estructura que funcione como tranquilizador en dicha descarga, ésta estructura debe evitar que grandes sólidos sedimentados pasen a la tubería de alimentación del biodisco y al mismo tiempo permitir la salida de los lodos acumulados.

La DICyG cuenta con un periodo de vacaciones administrativas cada semestre, en el cual no se presenta el personal que labora en este edificio y por consecuencia no existe la generación de aguas residuales, por esta razón se debe proponer una metodología tal que permita suspender el funcionamiento del sistema al llegar dicho periodo y proporcionar las medidas necesarias para reiniciar las actividades del mismo.

Con base en las experiencias reportadas con los equipos similares que se incluyeron en este trabajo y los cálculos realizados en el Capítulo 5, se espera que los rendimientos del sistema de tratamiento a base de CBR se encuentren entre un 80% y 95% en los parámetros presentados.

Es necesario el constante monitoreo mecánico y analítico del sistema para prevenir posibles fallas de operación o, de ser el caso, detectar el origen de las mismas. Además, esto permite la creación de una base de datos que servirá para futuras investigaciones en este tipo de sistemas de tratamiento.

Por último, en cuanto al pH y temperatura se puede hacer uso de cualquier instrumento de medición disponible en laboratorio para su determinación, la frecuencia puede ser la misma que los anteriores parámetros ya que no demandan de un procedimiento extenso.

6. CONCLUSIONES

La planeación y el diseño del sistema de tratamiento a base de biodiscos muestra el equipo necesario para su funcionamiento básico y cuenta con la posibilidad de ampliar el nivel de tratamiento y/o su capacidad, permitiendo nuevas instalaciones.

Las técnicas de análisis presentadas en este trabajo son las más comunes y la aplicación de algunas de ellas tienen lugar en la formación que imparte la Facultad de Ingeniería, por lo que se espera que se desarrollen sin grandes dificultades.

Debido al constante bombeo y a que éste provoca turbulencia en el taque al cual descarga, se recomienda la utilización de algún tipo de estructura que funcione como tranquilizador en dicha descarga, ésta estructura debe evitar que grandes sólidos sedimentados pasen a la tubería de alimentación del biodisco y al mismo tiempo permitir la salida de los lodos acumulados.

La DICyG cuenta con un periodo de vacaciones administrativas cada semestre, en el cual no se presenta el personal que labora en este edificio y por consecuencia no existe la generación de aguas residuales, por esta razón se debe proponer una metodología tal que permita suspender el funcionamiento del sistema al llegar dicho periodo y proporcionar las medidas necesarias para reiniciar las actividades del mismo.

Con base en las experiencias reportadas con los equipos similares que se incluyeron en este trabajo y los cálculos realizados en el Capítulo 5, se espera que los rendimientos del sistema de tratamiento a base de CBR se encuentren entre un 80% y 95% en los parámetros presentados.

Es necesario el constante monitoreo mecánico y analítico del sistema para prevenir posibles fallas de operación o, de ser el caso, detectar el origen de las mismas. Además, esto permite la creación de una base de datos que servirá para futuras investigaciones en este tipo de sistemas de tratamiento.

REFERENCIAS:

- American Public Health Association, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition*, NW Washington 1998.
- Antonie R. L., *Fixed Biological Surfaces Wastewater Treatment. The Rotating Biological Contactor*, GRC Press, Inc., Cleveland, Ohio 1976.
- Benefield L. and Randall C.W., *Biological Process Desing for Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, 1980.
- Comisión Nacional del Agua, *Sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales y lodos producidos*, Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA 1994.
- Felipe Solorio Perusquia, *Tratamiento de agua de remojo de la cebada por medio de biodisco*, Tesis profesional para obtener el título de Maestro en Ingeniería Ambiental, UNAM 1988.
- Harremoes P., *Biofilm Kinetics: In Water Pollution Microbiology*, vol. II, Ed. John Wiley and Sons, New York 1978.
- Landa V. A., *Recuperación de agua en una planta de malta*, Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Químico, Escuela Nacional de Ciencias Químicas. UNAM 1962
- Lines G. T., *Water Pollution Control: Proceedings of symposium*, 1974.
- Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Mc-Graw Hill's 2004.
- R.S. Ramalho, *Tratamiento de aguas residuales*, Editorial Reverté 1993.
- Rafael L. Ruiz, *Aguas residuales municipales y biosólidos*, División de Ingeniería Civil y Geomática, UNAM 2004.
- Rex T. Chan & Michael K. Stenstrom, *Use of the Rotating Biological Contactor for Appropriate Technology Wastewater Treatment*, Univesity of California, Los Angeles 1979.
- Seoáñez C. Mariano, *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*, Mundi-Prensa, España 2004.
- Trulear, M. G. and Characklis W.G., *Dynamics of the biofilm Processes*, Journal of the Water Pollution Control Federation 1982.

ANEXO A

Medición de caudal de descarga de la DICyG

Objetivo:

Determinar el caudal de aguas residuales generado en la DICyG y al mismo tiempo conocer el comportamiento de éste con respecto al tiempo obteniendo así la curva de variación horaria de dichas descargas.

Equipo y material utilizado:

- Sistema de micrófono inalámbrico
- Grabadora con entrada de plug 3.5 Estéreo
- Cable adaptador de dos plug RCA a un plug 3.5 Estéreo
- Baterías de 9V



Figura A-1. Equipo utilizado en la medición del caudal de descarga de la DICyG

Procedimiento:

Se debe comenzar con la prueba del equipo para conocer su funcionamiento y detectar si existe algún impedimento para su instalación como fuertes interferencias, ruido excesivo u otras actividades que impidan una buena recepción de señal, esto con el fin de garantizar las lecturas precisas de las descargas correspondientes. Una vez instalado el equipo se debe conocer el gasto emitido por cada descarga, en este caso es de 6 L/desc.

La ubicación del micrófono debe permitir, en medida de lo posible, identificar el sonido de descarga y al mismo tiempo evitar estar expuesto a actividades comunes que puedan dañarlo. Para este estudio la ubicación se hizo dentro de un pequeño espacio utilizado por intendencia, el cual contiene la instalación hidráulica del edificio contando con la ventaja de medir las descargas de los dos niveles y con acceso restringido.

Una vez instalado el equipo de sonido completamente se debe llevar un registro a lo largo del día estableciendo los horarios con base en las actividades del edificio, para este estudio se propuso un horario de 07:00 a 19:00 horas, en un intervalo de tiempo de tres días, debido a que es un edificio con actividades de oficina y su comportamiento no es errático.

Una vez obtenidos los registros de descargas se obtiene un promedio de las mismas y se elabora una tabla resumen (ver tabla A-1). Con el uso de esta tabla se genera la llamada curva masa para determinar el volumen del tanque a utilizar para el almacenamiento de las descargas. En este punto se debe conocer qué tipo de bomba se utilizará y cuál será su gasto, esto permitirá que el volumen del tanque no sea excesivo, además de determinar el tiempo de funcionamiento de la bomba tomando en cuenta el comportamiento de la curva masa generada a partir de la diferencia de los gastos de entrada y salida (ver tabla A-2). Cabe mencionar que debido a que no se obtiene una medida exacta del gasto de descarga se recomienda el uso de un factor de seguridad que limite los errores en este parámetro pudiendo variar entre 1.2 y 1.4.

Finalmente se obtiene la capacidad del tanque haciendo la suma del valor absoluto del volumen excedente y el volumen faltante.

Memoria de Cálculo:

Tabla A-1. Resumen de registros de descargas.

Resumen Día 1			Resumen Día 2			Resumen Día 3		
Hora	Descargas	Gasto [L]	Hora	Descargas	Gasto [L]	Hora	Descargas	Gasto [L]
8	3	18	8	4	24	8	4	24
9	6	36	9	6	36	9	5	30
10	11	66	10	11	66	10	11	66
11	15	90	11	20	120	11	12	72
12	11	66	12	13	78	12	16	96
13	11	66	13	19	114	13	17	102
14	12	72	14	15	90	14	16	96
15	9	54	15	15	90	15	23	138
16	6	36	16	19	114	16	12	72
17	9	54	17	15	90	17	5	30
18	12	72	18	8	48	18	3	18
19	5	30	19	4	24	19	9	54
Σ	104	624	Σ	148	888	Σ	134	804

De los promedios de la tabla A-1 se genera la tabla A-2, colocando datos de salida (bombeo):

Tabla A-2. Promedio de descargas y curva masa de gastos

Hora	Descarga promedio [L]	Acumulado [L]	Con FS = 1.4	Salida	Ac. Salida [L]	Diferencia [L]
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	22	22	30.8	0	0	30.8
9	33	55	77	0	0	77
10	66	121	169.4	0	0	169.4
11	96	217	303.8	287.3	287.3	16.5
12	87	304	425.6	0	287.3	138.3
13	108	412	576.8	287.3	574.6	2.2
14	93	505	707	0	574.6	132.4
15	114	619	866.6	287.3	861.9	4.7
16	93	712	996.8	0	861.9	134.9
17	60	772	1080.8	0	861.9	218.9
18	33	805	1127	0	861.9	265.1
19	39	844	1181.6	320.8	1182.7	-1.1
20	0	844	1181.6	0	1182.7	-1.1
21	0	844	1181.6	0	1182.7	-1.1
22	0	844	1181.6	0	1182.7	-1.1
23	0	844	1181.6	0	1182.7	-1.1
24	0	844	1181.6	0	1182.7	-1.1

De la tabla A-2 se generan las figuras A-2 y A-3, mismas que se presentan a continuación:

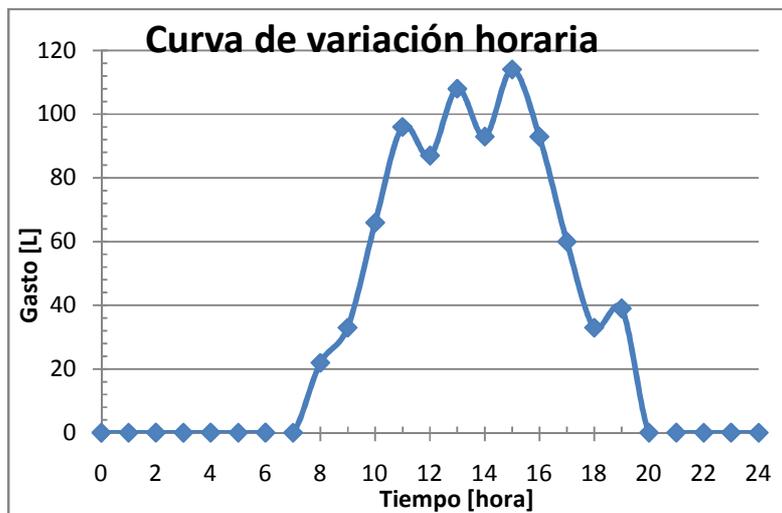


Figura A-2. Curva de variación horaria del gasto de descarga

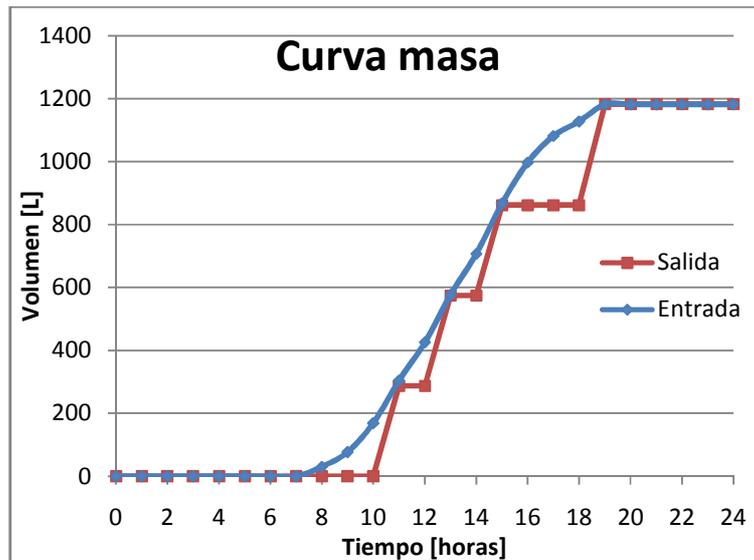


Figura A-3. Curva masa generada a partir de los gastos acumulados de entrada y salida de la tabla A-2

Los datos de salida se basan en un gasto de bombeo 4.79 L/s y en un tiempo promedio de 60 segundos y la capacidad del tanque se calcula de la siguiente manera:

$$V = |\text{máx. faltante}| + |\text{máx. excedente}|$$

$$V = |-1.1| + |265.1| = 266.2[L]$$

La capacidad del tanque es de 266.2 litros, en el mercado el más cercano es de 250 litros.

Conclusiones

Se pueden presentar problemas de operación de la bomba debido a que las descargas no tienen un gasto constante, además, en un tanque sumergido de aguas residuales es difícil colocar un dispositivo que permita conocer el nivel del agua sin necesidad de generar olores. Por esta razón se llegó a la conclusión del uso de un aparato llamado eletronivel (Anexo C) que basa su funcionamiento en electrodos colocados dentro de los tanques, tanto de almacenamiento como de bombeo, regulando el nivel de agua en ambos con la activación de la bomba, dicha activación depende del nivel de los electrodos.

Se recomienda el uso de una bomba de menor potencia a la utilizada en este estudio, ya que las dimensiones del tanque (250 litros) pueden no ser las requeridas para su funcionamiento, provocando problemas de cavitación u otros similares, o, en su defecto utilizar una tanque de mayores dimensiones.

ANEXO B



Effluent Pump, Submersible, Heavy Duty, 1/2 HP, Tether, Housing Cast Iron, Impeller Material Polypropylene, 230 Voltage, 5.1 Amps, Height 16 3/4 In., Dia. 12 1/4 In., Cord Length 20 Ft., Discharge NPT 2 In., Max. Dia. Solids 3/4 In., Max. Head 79 Ft., GPM of Water @ 50 Ft. of Head 36, Max. Temp. 104 F, Phase 1, Intermittent Duty

Brand
Mfr. Model #
Ship Weight (lbs.)

DAYTON
3BB84
81.0

Item	Effluent Pump
Type	Submersible, Heavy Duty
HP	1/2
Switch Type	Tether
Base Material	Cast Iron
Housing	Cast Iron
Top Material	Cast Iron
Impeller Material	Polypropylene
Voltage	230
Amps	5.1
Height (In.)	16 3/4
Dia. (In.)	12 1/4
Cord Length (Ft.)	20
Discharge NPT (In.)	2
Shaft Seal	Silicon Carbide/Buna N
Max. Dia. Solids (In.)	3/4
GPM of Water @ 5 Ft. of Head	79
GPM of Water @ 10 Ft. of Head	76
GPM of Water @ 20 Ft. of Head	66
GPM of Water @ 40 Ft. of Head	47
Max. Head (Ft.)	79
GPM of Water @ 15 Ft. of Head	70
GPM of Water @ 25 Ft. of Head	61
GPM of Water @ 30 Ft. of Head	56
GPM of Water @ 50 Ft. of Head	36
GPM of Water @ 80 Ft. of Head	25
GPM of Water @ 70 Ft. of Head	13
Max. Temp. (F)	104
Phase	1
Duty	Intermittent



ELECTRONIVELES ELECTRONICOS

IMPORTANTE: ANTES DE INSTALAR LEA CUIDADOSAMENTE ESTE INSTRUCTIVO

INSTRUCTIVO DE INSTALACIÓN

Instale el Electronivel Electrónico cerca de la bomba, en un lugar cubierto, ventilado, en posición vertical y protegido de la lluvia, el sol y el calor. **NO LO INSTALE A LA INTEMPERIE.**

Conecte la bomba con cables calibre 16 o mas gruesos dependiendo de la potencia de la bomba, los cables de los niveles pueden ser calibre 22 o mas gruesos.

Suspenda los electrodos de cada tanque a las alturas indicadas en el diagrama.

Asegúrese que el puente proporcionado entre las terminales (T y M) esté conectado.

Conecte la energía temporalmente al circuito, y la bomba deberá operar correctamente. Si es así, ahora desconecte la energía eléctrica del circuito, quite el puente entre las terminales (T y M), quedando las conexiones de acuerdo al diagrama.

Restablezca la corriente eléctrica y su bomba operará en forma

PRECAUCIONES:

- Corte la energía antes de hacer alguna conexión.
- Verifique que la alimentación del equipo sea la adecuada.
-

Asegurese de identificar lo que es Línea y Neutro de la

ESPECIFICACIONES ELECTRICAS

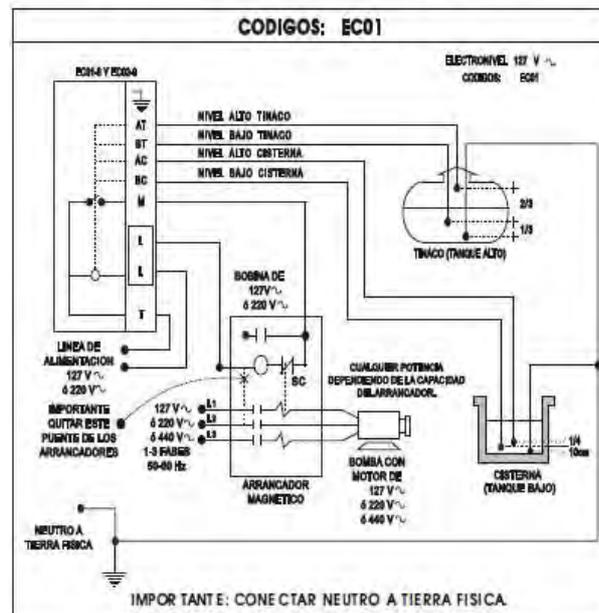
CODIGOS:		EC01
TENSION NOMINAL		127 V~
CORRIENTE MAXIMA		15 A
POTENCIA MAXIMA DIRECTA		3/4 H.P
POTENCIA MAXIMA CON ARRANCADOR MAGNETICO		SIN LIMITE
FRECUENCIA		50-60 Hz
CONDICIONES DE SOBRECARGA MAXIMA		40 A. DURANTE 1 SEGUNDO 120 A. PICOS DURANTE 1 CICLO
TEMPERATURA DE OPERACION		0 A 70 °C
FACTOR DE CORRECCION PARA TEM. MAYORES DE 45°		0.23 A/°C
RESISTENCIA ENTRE ELECTRODOS PARA OPERACION	MAX.	100 k Ω
	MIN.	1 M Ω
CORRIENTE MAXIMA POR ELECTRODO		150 μ A
VOLTAJE MAXIMO ENTRE ELECTRODO Y TIERRA		38 V~
TIEMPO TIPOICO DE RESPUESTA		0.5 seg.

Si desea controlar únicamente el tanque alto, conecte las terminales (BC y AC) a la terminal (T).

Si desea controlar únicamente el tanque bajo, deje sin conexión las terminales (BT y AT).

Este equipo esta diseñado para operar con líquidos conductores de electricidad, tales como agua potable, leche, aguas negras o salinas, etc. No opera con aceites, gasolinas, agua destilada, alcoholes ni derivados del petróleo.

DIAGRAMAS DE INSTALACION



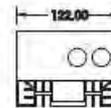
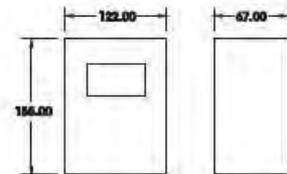
PROCEDIMIENTO DE LOCALIZACIÓN DE

- Paso No. 1 Verificar conexión y operación de las bombas.**
Tomar el cable que viene de la bomba, desconectarlo de la terminal (M) del equipo y conectarlo en (T).
Conectar la energía eléctrica, la bomba debe arrancar y al desconectar el cable la bomba debe parar.
Si esto sucede la conexión de la bomba es correcta.
Volver a conectar el cable que viene de la bomba a la terminal (M) del equipo.
- Paso No. 2 Verificar funcionamiento de niveles.**
Desconectar los cables de las terminales (BC, AC, BT y AT).
Con un puente conectar las terminales BC y AC a la terminal T.
Conectar la energía eléctrica, la bomba debe arrancar.
Conectar las terminales(AT y BT) a la terminal T, una bomba debe parar.
Desconectar las terminales (AT y BT), una bomba debe arrancar.
Desconectar las terminales (BC y AC), la bomba debe parar.
Si esto sucede el equipo opera adecuadamente.
- Paso No. 3 Verificar niveles de cisterna.**
Conectar en las terminales (BT y AT) los cables que van a los electrodos de la cisterna.
Verifique que la cisterna tenga agua.
La bomba debe de arrancar al sumergir los electrodos en agua.
Y debe de parar cuando los electrodos estén fuera del agua.
Si esto sucede la instalación de los electrodos de la cisterna es correcta.
Verifique conexiones falsas, humedad dentro de las tuberías o conexiones y que la tierra física esté bien conectada al neutro y al electrodo del fondo de la cisterna.
- Paso No. 4 Verificar niveles del tinaco.**
Conectar las terminales(BT y AT) a los cables que van a los electrodos del tinaco.
Asegúrese que los electrodos están dentro del agua.
La bomba debe arrancar al sacar del agua los electrodos (BT y AT)
La bomba debe parar al sumergir los electrodos (BT y AT) dentro del agua.
Si esto sucede la instalación de los electrodos es correcta.
Verifique conexiones falsas, humedad dentro de las tuberías o conexiones y que la tierra física esté bien conectada al neutro y al electrodo del fondo del tinaco.
- Paso No. 5** Sólo en el caso de que este procedimiento nos de indicación de que el equipo NO está operando correctamente, Ud. deberá enviar su equipo a servicio, acompañado de su póliza de garantía respectiva y factura de compra en su caso.

DIMENSIONES MECANICAS

ACOTACIONES: mm
PESO APROX. EMPACADO:
CODIGO: EC01 = 1275 gms.

CODIGOS: Ec01



POLIZA DE GARANTIA

CONTROLES ELECTRONICOS INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.

GARANTIZA

SUS PRODUCTOS POR EL TERMINO DE TRES AÑO, EN TODAS SUS PARTES Y MANO DE OBRA PARA CUALQUIER DEFECTO DE FABRICACION, A PARTIR DE LA FECHA DE ENTREGA DEL PRODUCTO BAJO LAS SIGUIENTES:

CONDICIONES:

- 1.- LA EMPRESA SE COMPROMETE Y SE LIMITA A REPARAR O CAMBIAR EL PRODUCTO DEFECTUOSO SIN NINGUN CARGO PARA EL CONSUMIDOR Y ACUBRIR LOS GASTOS QUE SE DERIVEN DEL CUMPLIMIENTO DE LA PRESENTE
- 2.- PARA HACER EFECTIVA ESTA GARANTIA, SE REQUIERE LA PRESENTACION DEL PRODUCTO, ESTA POLIZA CON SUS DATOS DEBIDAMENTE REGISTRADOS, Y LA FACTURA O COMPROBANTE DE LA FECHA DE COMPRA DIRECTAMENTE EN NUESTRO CENTRO DE SERVICIO.
- 3.- EL TIEMPO DE REPARACION EN NINGUN CASO SERA MAYOR DE 30 DIAS CONTADOS A PARTIR DE LA FECHA DE RECEPCION DEL PRODUCTO EN NUESTRO CENTRO DE SERVICIO.

ESTA GARANTIA NO ES VALIDA EN LOS SIGUIENTES CASOS:

- a) CUANDO EL PRODUCTO SE HUBIESE UTILIZADO EN CONDICIONES DISTINTAS A LAS NORMALES.
- b) CUANDO EL PRODUCTO NO HUBIESE SIDO OPERADO DE ACUERDO CON EL INSTRUCTIVO DE USO QUE SE LE ACOMPAÑA.
- c) CUANDO EL PRODUCTO HUBIESE SIDO ALTERADO O REPARADO POR

SELO Y FIRMA DEL ESTABLECIMIENTO QUE VENDIO EL PRODUCTO.

CENTRO DE SERVICIO Y VENTA DE REFACCIONES :

GRAL. ARISTA # 8 C.P. 11260 MEXICO, D.F. TELS.: 52+ (55) 5399 9777, 5527 0566
FAX: 52+ (55) 5399 0983 e-mail celsa@celsa.com.mx www.celsa.com.mx

CODIGO: _____
 SERIE O No. DE LOTE : _____
 FECHA DE ENTREGA : _____

Si el equipo no funciona adecuadamente, revise el procedimiento de localización de fallas o comuníquese al centro servicio CEISA.

CONTROLES ELECTRONICOS INDUSTRIALES S.A. DE C.V.
 GRAL. ARISTA # 8, COL. SAN JOAQUIN, 11260 MEXICO D.F., MEXICO
 TELS: 52+ (55) 5399 9777, 5399 9797, 5399 9701, FAX: 5399 0983
 www.celsa.com.mx e-mail celsa@celsa.com.mx

www.celsa.com.mx