

**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE DISCOS BIOLÓGICOS
ROTATORIOS PARA AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES EN
BARRANQUILLA – COLOMBIA**

**ALBERTO JOSÉ NEGRETE RAMOS
ROBERTO CLEMENTE GUZMÁN SANTOS
JOSE RAMON MEJIA MENDOZA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE ING SANITARIA Y AMBIENTAL
X SEMESTRE
BARRANQUILLA
2001**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE DISCOS BIOLÓGICOS
ROTATORIOS PARA AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES EN
BARRANQUILLA – COLOMBIA**

Proyecto de Grado para optar el título de: **INGENIERO SANITARIO Y
AMBIENTAL**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
X SEMESTRE
BARRANQUILLA
2001**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, Diciembre 5 de 2001

DEDICATORIA

A Dios por la luz que me guía
en el largo camino de la vida.

A mis padres y hermanos, por
ser los motores que me
impulsan día a día a seguir
luchando para alcanzar mis
metas y logros.

Roberto Guzmán

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre en mi camino iluminándome para alcanzar mis metas profesionales.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional y su infinito amor, que me sirve de aliento para seguir alcanzando todas mis metas.

Alberto Negrete

DEDICATORIA

A Dios por su infinita gloria y su gran misericordia quien es la luz que ilumina mi sendero cada día.

A mis padres y hermanos, que me motivaron cada día en el logro de mis objetivos profesionales

José Mejía

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A Dios por darnos sabiduría y entendimiento para realizar este proyecto.

Al Ingeniero Jaime Maestre, Asesor Técnico, por su valiosa colaboración y orientación en el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Juan Pablo Rodríguez, Asesor Metodológico por su constante enseñanza y motivación en este proyecto.

A la Ingeniera Diana Mosquera, Directora del Programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, por su apoyo incondicional hacia nosotros.

A la Digitadora Sara Garizao, por su paciencia y dedicación en el transcurso de nuestra carrera.

Y a todas aquellas personas que tuvieron que ver de una u otra manera con la realización de este proyecto.

Alberto Negrete.

Roberto Guzmán

José Mejía

RESUMEN

Los biodiscos se integran dentro de los procesos biológicos, realizando una misión similar a la de los lechos estáticos. El proceso es válido como elemento reductor de la materia orgánica, como elemento de nitrificación y elemento de desnitrificación. Su funcionamiento puede sintetizarse, indicando que los elementos soporte (microorganismos, biomasa, sustrato, etc.) integrantes de los biodiscos, se sumergen parcialmente en las aguas residuales a tratar.

Para la realización de este diseño utilizaremos como referencia todos aquellos estudios y textos especializados elaborados, concernientes al tema de biodiscos como uno de los muchos sistemas de lechos fijos para el tratamiento de las aguas residuales, como tal daremos nuestro mayor enfoque a todos aquellos parámetros de diseño determinados y necesarios para nuestro trabajo.

Palabras clave: Plantas para tratamiento de aguas residuales, Aguas residuales, Tratamiento de biológico, Biodiscos.

ABSTRACT

The biodiscs integrate inside the biological processes, realizing a mission similar to that of the static beds. The process is valid like element differential of the organic matter, like element of nitrificación and element of desnitrificación. Its functioning can be synthesized, indicating that I supported the elements (microorganisms, biomass, substratum, etc.) members of the biodiscs, they submerge partially in the wastes water to be treated.

For the achievement of this design we will use all those studies as a reference and elaborated specializing texts, relating to the topic of biodiscs like one of many systems of fixed beds for the treatment of the residual wastes, as such we will give our biggest approach to all those parameters of design certain and necessary for our work.

Keywords: You plant for treatment of wastes water, Wastes water, Treatment of biological, Biodiscs.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
1. TEMA	14
2. TITULO	14
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
4. OBJETIVOS	19
4.1 OBJETIVO GENERAL	19
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
5. JUSTIFICACIÓN	20
6. MARCO TEORICO	21
6.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	21
6.2 ANTECEDENTES DE AGUAS RESIDUALES	21
6.3 SITUACIÓN ACTUAL	22
6.4 NATURALEZA CAMBIANTE DE LAS AGUAS RESIDUALES.	26
6.5 EL PROBLEMA DE LOS VERTIDOS INDUSTRIALES	27
6.6 IMPACTO DE LAS AGUAS PLUVIALES Y LAS FUENTES NO LOCALIZADOS DE CONTAMINACION	28
6.7 ALIVIADO DE CAUDALES DE COLECTORES UNITARIOS	28
6.8 OPERACIONES DE TRATAMIENTO, PROCESOS Y CONCEPTOS	29
6.9 PROBLEMÁTICA DE LA SALUD PUBLICA Y EL MEDIO AMBIENTE	31
6.10 EFECTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO	32
6.11 PLANTAS PEQUEÑAS Y SISTEMAS INDIVIDUALES DE TRATAMIENTO	34
6.12 PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	34
6.13 TRATAMIENTOS AERÓBICOS	40
6.13.1 Requerimientos básicos	40
6.14 ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE BIODISCOS	42
6.15 FUNDAMENTO TEORICO	43

6.15.1. Descripción del proceso	43
6.15.2. Funcionamiento	44
6.15.3. Fundamento biológico del proceso	45
6.15.4. Espesor de biofilm	48
6.15.5. Ecología del sistema de biodiscos	48
6.15.6. Factores que controlan el comportamiento del sistema.	49
6.15.7. Ventajas y desventajas de los biodiscos	50
6.15.8. Dificultades en procesos de biodiscos	52
6.15.9. Sustancias inhibidoras	53
6.15.10. características típicas de los biodiscos.	54
6.15.11. Problemas operacionales	56
6.15.12. Modelos para el diseño y calculo de biodiscos.	57
6.16 SEDIMENTACIÓN	58
6.16.1 Tanques secundarios de sedimentación	62
6.16.2 Secado de lodos	64
6.16.3 Lechos de secado de arena	66
6.16.4 Formulación de hipótesis:	70
6.16.5 Cuadro de operacionalización de las variables	71
7. CLASE DE INVESTIGACIÓN	74
8. DISEÑO METODOLOGICO DEL PROYECTO	75
9. CALCULO DE BIODISCOS, SEDIMENTADOR Y LECHO DE SECADO	77
10. RECURSOS DISPONIBLES	
11. CONCLUSIONES	
12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL DISEÑO	
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	
GLOSARIO	
ANEXOS	

INTRODUCCION

Los biodiscos se integran dentro de los procesos biológicos, realizando una misión similar a la de los lechos estáticos. El proceso es válido como elemento reductor de la materia orgánica, como elemento de nitrificación y elemento de desnitrificación. Su funcionamiento puede sintetizarse, indicando que los elementos soporte (microorganismos, biomasa, sustrato, etc) integrantes de los biodiscos, se sumergen parcialmente en las aguas residuales a tratar.

Este es un sistema de tratamiento de aguas residuales del tipo de crecimiento adherido o reactor de película fija. Las lamas o películas biológicas crecen sobre discos en rotación a través del agua residual montados sobre un eje horizontal.

Las primeras instalaciones o montajes de este tipo de sistemas fueron implementados en Alemania Occidental en 1960, a partir de esta fecha otros países fueron utilizando este tipo de tecnología, como lo fue Estados Unidos y Canadá. Donde en primera instancia este sistema de tratamientos fue utilizado en un 70% para la eliminación de la DBO carbonosa, y el 25% combinaban la eliminación de la DBO con la nitrificación y el 5% restante para la nitrificación de efluentes de tratamientos secundarios.

Con la elaboración de un diseño adecuado, los biodiscos pueden tener mejores rendimientos que otros sistemas de tratamiento de película fija, debido a la menor relación carga orgánica / biomasa, al mayor tiempo de retención de los sólidos en la fase biológica, y al mejor control de la formación de cortocircuitos.

Para el buen funcionamiento del sistema, se deben prestar la debida atención a cuatro puntos importantes; como son:

- La distribución en etapas de las unidades de biodiscos
- Los criterios de carga
- Las características del efluente
- Tanques de sedimentación

Para la realización de este diseño utilizaremos como referencia todos aquellos estudios y textos especializados elaborados, concernientes al tema de biodiscos como uno de los muchos sistemas de le lechos fijos para el tratamiento de las aguas residuales, como tal daremos nuestro mayor enfoque a todos aquellos parámetros de diseño determinados y necesarios para nuestro trabajo. ¹

¹ METCALF & HEDI Ingeniería de Aguas Residuales. Volumen 2. Año 1995.

1. TEMA: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**2. TITULO: DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE DISCOS BOLOGICOS
ROTATORIOS PARA AGUAS INSTITUCIONALES EN BARRANQUILLA –
COLOMBIA**

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En este proyecto se pretende dar una nueva alternativa para la investigación en el ámbito de laboratorio, en lo referente al tratamiento de aguas residuales institucionales; entre los muchos tratamientos que utilizan sistemas de medios en movimientos y/o sistemas de cultivos fijos, que operan o trabajan algunos entes universitarios de la región

Entre los sistemas de cultivos fijos utilizados frecuentemente encontramos:

Filtros Percoladores, están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual.

Lecho Fluidizado, son considerados como una combinación de los sistemas de crecimiento adherido y crecimiento en suspensión, donde se desarrolla una película de lama biológica sobre un medio sólido de soporte que consiste de partículas suficientemente pequeñas para ser mantenidas en suspensión por medio del flujo ascendente del líquido bajo tratamiento.

Biotorres, son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas residuales industriales de alta carga orgánica y son frecuente en la industria Láctea.

Lagunas de Estabilización, es una masa de agua relativamente profunda, en una excavación en el terreno, son de uso muy frecuente en pequeñas comunidades, se usan para el tratamiento de aguas residuales industriales y mezclas de aguas residuales domesticas e industriales.

Lodos Activados, es la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

El Reactor UASB, consiste en un tanque al que se le introduce el agua a tratar por debajo uniformemente distribuido, una vez el agua está adentro del reactor pasa por un manto de lodo biológico que transforma la materia orgánica en biogás.

Contactores Biológicos Rotatorios, un cilindro de eje horizontal gira dentro y fuera de un tanque de retención del agua residual de geometría semicircular. El cilindro giratorio o reactor se fabrica de material plástico de alta densidad. A medida que el cilindro gira se crea una capa de biomasa en su superficie y el agua residual entra en contacto con la biomasa y el aire. Los microorganismos en la biomasa separan la materia orgánica del agua residual.

Una vez detallados los anteriores sistemas para el tratamiento de aguas residuales, hemos establecidos que los biodiscos, es la alternativa más viable, dado que es una tecnología ampliamente conocida en todos los

países desarrollados, donde han tenido una gran aceptabilidad, debido a que este sistema a mostrado gran eficiencia al momento de tratar las aguas residuales.

En nuestro país y aquí en Barranquilla este tipo de tecnología es escasa, aunque se registran el uso de biodiscos en algunas industrias e institución educativa (Universidad del Atlántico) para el tratamiento de sus aguas residuales institucionales e industriales.

Haciendo falta una planta piloto en la ciudad para el desarrollo de investigaciones, hemos optado por la elaboración del diseño de una planta piloto de biodisco, dado que se pretende dar inicio a un estudio más detallado sobre este tipo de tecnología, motivando tanto a estudiante como a profesionales de la materia. ²

Bajo estos criterios se nos han formados los siguientes interrogantes:

- Si el funcionamiento de este sistema es al más óptimo para el tratamiento del agua residual institucional a tratar?

- Será que este sistema mostrara una mayor eficiencia con respecto a otros sistemas de tratamientos de lecho fijo, bajo las condiciones imperantes en Barranquilla?

² Ibid. Pág. 673 – 722 . ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Pág. 551 – 567

- La viabilidad de este proyecto será mayor con respecto a otros sistemas de película fija para el tratamiento de aguas residuales?

- Este diseño presentara la misma eficiencia al momento de tratar cualquier tipo de Agua Residual?

- Llevado a cabo este proyecto, se utilizara como objeto de apoyo para la realización de futuras investigaciones en el área de tratamientos de aguas residuales?

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una planta piloto de discos biológicos rotatorios para aguas residuales institucionales en Barranquilla – Colombia

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Obtener información que puede usarse en el diseño de nuevas instalaciones.
- Encontrar los mejores rendimientos, remociones y eficiencias con las variaciones de tasa de flujo.
- Identificar la eficiencia de sistemas de biodiscos, con respecto a otros sistemas de lecho fijo.
- Identificar las ventajas y desventajas del sistema de biodiscos, con respecto a otros sistemas de tratamiento.
- Contribuir al conocimiento y desarrollos de los procesos biológicos aerobios de lechos fijos, como son los biodiscos.

5. JUSTIFICACIÓN

Los tratamientos a base de biodisco se encuentran ubicado o hace parte de los grandes grupos de tecnología (sistemas de tratamientos secundarios), utilizadas para el tratamiento de aguas residuales. Lo que demuestra que este tipo de sistema presenta una gran eficiencia al momento de ser utilizado.

La ausencia de implementación y conocimiento de una planta piloto, para este tipo de sistemas en la ciudad de Barranquilla, nos a motivado a la elaboración de un diseño a escala piloto, debido a que este tipo de sistemas a demostrados tener un buen funcionamiento y aceptabilidad al momento de tratar aguas residuales institucionales, dado que este sistema comparado con otros sistemas de tratamientos secundarios presenta un mejor rendimiento.

Por esta razón este grupo de trabajo tiene un marcado interés, por la realización de este proyecto, debido a que es nueva para nosotros y nos enfrenta a nuevos conocimientos y nuevas formas de investigación, que tarde o temprano nos generara muchos beneficios en nuestra formación como ingenieros, brindándonos un gran avance para el futuro en nuestra vida como profesionales.

6. MARCO TEORICO

6.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales recogidas en comunidades y municipios deben ser conducidas, en última instancia, a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno. La compleja pregunta acerca de qué contaminantes contenidos en el agua residual y a qué nivel deben ser eliminados de cara a la protección del entorno, requiere una respuesta específica en caso correcto. Para establecer dicha respuesta es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso, y aplicar tanto los conocimientos científicos como la experiencia previa de ingeniería, respetando la legislación y las normas reguladoras de la calidad del agua existente.

6.2 ANTECEDENTES DE AGUAS RESIDUALES

Aunque la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempos antiguos, la recogida de aguas residuales no aparece hasta principios del siglo XIX, mientras que el tratamiento sistemático de las aguas residuales data de finales del siglo pasado y principios del presente. El desarrollo de la teoría del germen a cargo de Koch y Pasteur en la segunda mitad del siglo XIX marcó el inicio de una nueva era en el campo del saneamiento. Hasta ese momento se había profundizado poco en la relación entre contaminación y

enfermedades, y no se había aplicado al tratamiento de aguas residuales la bacteriología, disciplina entonces en sus inicios.

En Estados Unidos, el tratamiento y eliminación de las aguas residuales no recibió demasiada atención a finales del siglo XIX porque los daños causados por el vertido de aguas no tratadas en las relativamente grandes masas de agua receptoras (comparadas con las europeas) no eran graves, y porque se disponía de grandes extensiones de terreno para su evacuación. Sin embargo, a principios de este siglo, los daños causados y las condiciones sanitarias impulsaron una creciente demanda de mayor eficiencia en el tratamiento y gestión de las aguas residuales.

6.3 SITUACIÓN ACTUAL

Se conoce como operaciones unitarias aquellos métodos de tratamiento en los que predomina los fenómenos físicos, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan entre si para constituir los así llamados tratamiento primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado).

El tratamiento primario contempla el uso de operaciones físicas tales como la sedimentación y el desbaste para la eliminación de los sólidos sedimentales

y flotantes presentes en el agua residual. En el tratamiento secundario son procesos biológicos y químicos los que se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica. En el tratamiento terciario se emplean combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes, tales como el nitrógeno y fósforo, cuya reducción con tratamiento secundario no es significativa. Durante los últimos 40 años casi se ha triplicado el número de plantas de tratamiento al servicio de los municipio y comunidades. Según los estudios más recientes de la U.S. Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos), existen actualmente en los Estados Unidos de América más de 15.000 plantas de tratamiento en funcionamiento. El análisis de los datos referentes al tamaño de las plantas de tratamiento contenidos en la tabla 1 nos muestra que alrededor del 81 por 100 de aquellas que necesitan tratamiento corresponde a caudales menores de $3.800 \text{ m}^3 / \text{día}$; el 16 por 100 corresponde a caudales comprendidos entre $3.800 \text{ m}^3/\text{día}$; y $38.000 \text{ m}^3 / \text{día}$, y en torno al 3 por 100 corresponde a caudales superiores a los $38.000 \text{ m}^3/\text{día}$. El análisis de los datos sobre la capacidad total de tratamiento de las plantas nos indica, asimismo, que en torno al 9 por 100 de la misma corresponde a plantas de tratamiento con caudales de diseño inferiores a $3.800 \text{ m}^3/\text{día}$; el día 25 por 100 corresponde a plantas cuyo caudal de diseño está entre 3.800 y $38.000 \text{ m}^3/\text{día}$, y que el 66 por 100 restante corresponde a plantas con caudales mayores de $38.000 \text{ m}^3/\text{día}$.

En la tabla 2 se ofrecen datos sobre el número de plantas de tratamiento existentes según el nivel de tratamiento aplicado en las mismas. En 1988, aproximadamente el 11 por 100 de las instalaciones tenía niveles de tratamiento inferiores al secundario, el 76 por 100 correspondía a instalaciones con tratamiento secundario o tratamientos más avanzados, y el 2 por 100 carecían de venido. El número de plantas con tratamiento primario se ha reducido considerablemente en relación a las 2.800 instalaciones que se hallaban en funcionamiento en 1974. Las previsiones indican que durante los próximos 20 años se producirá un incremento en orden del 10 por 100 en el número de plantas de tratamiento en Estados Unidos. No obstante, es notable el aumento en el número de plantas que han mejorado un nivel de tratamiento.

Tabla No. 1

Número de plantas de tratamiento en función de los caudales.

Caudal m ³ /día	Número de plantas		Capacidad total (m ³ /día)	
	1988	Necesarias	1988	Necesarias
38 – 380	5.983	5.497	0.98	1.01
380 – 3.800	6.589	7.681	8.73	10.15
3.800 – 38.000	2.427	3.376	27.17	39.87
> 38.000	446	739	71.89	116.60
Otros	15.591	17.374	108.77	167.63

Fuente: Metcalf & Eddy Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1

Como muestra la tabla No. 2 serán sustituidas o verán mejorado su nivel de tratamiento casi todas las plantas que en 1988 desarrollaban tratamientos

inferiores al secundario y se vera aumentado en cerca del 55 por 100 el número de plantas con tratamientos superiores al secundario cuando se cubran las necesidades previstas. Es por ello que el futuro se centra principalmente en la mejora de las plantas existentes para dotarlas de procesos de tratamiento secundario y terciario.

Tabla No. 2

Número de plantas de tratamiento en función del nivel de tratamiento

Nivel de tratamiento	Número de instalaciones		
	1988	Necesidades	Diferencia
Inferior al secundario	1.789	48 ^b	(1.741)
Secundario	8.536	9.659	1.123
Mayor que secundario	3.412	5.293	1.881
Sin descarga	1.854	2.363	509
Otros	117	11	(106)
Total	15.708	17.374	1.666

Fuente: Metcalf & Eddy Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1

Existe un conjunto de problemáticas y nuevas tendencias que se ponen de manifiesto en varias áreas específicas del tratamiento de aguas residuales, entre las que se encuentran (1) la naturaleza cambiante del agua residual que hay que tratar; (2) el problema de los residuos industriales; (3) el impacto de las aguas pluviales y las fuentes no localizadas de contaminación; (4) aliviado de colectores unitarios; (5) operaciones de tratamiento, procesos y conceptos; (6) problemática de la salud pública y el medio ambiente; (7)

efectividad de los procesos de tratamiento y (8) pequeños sistemas de tratamiento y sistemas individuales.

6.4 NATURALEZA CAMBIANTE DE LAS AGUAS RESIDUALES.

El número de compuestos orgánicos que se ha conseguido sintetizar desde principios de siglo pasas hoy en día del medio millón, y aparecen unos 10.000 compuestos nuevos cada año. Estos compuestos aparecen en las aguas residuales de la mayoría de los municipios y comunidades. Hoy en día es de gran importancia para los sistemas de recogida y tratamiento de las aguas residuales la presencia en las mismas de compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos orgánicos volátiles tóxicos (COVT).

En las redes de alcantarillado y en las plantas de tratamiento también es importante el control de los olores y, en particular, el control de la generación de sulfuro de hidrógeno. Parte del incremento en la generación de sulfuro en las redes de alcantarillado se atribuye a la considerable reducción de la cantidad de metales presente en los residuos industriales, consecuencia a su vez de la implantación de un programa efectivo de pretratamiento y control de los vertidos de origen industrial previo a su descarga a las redes de alcantarillado como en las instalaciones de cabecera de planta. Antes, el sulfuro que se generaba en las conducciones de alcantarillado, y que ahora se libera en forma de sulfuro de hidrógeno, reaccionaba con los metales presentes en las aguas residuales para formar sulfuros metálicos, tales como

el sulfuro férrico. La liberación del exceso de sulfuro de hidrógeno ha conducido a una importante aceleración en los procesos de corrosión y deterioro de los colectores de hormigón y de las obras de cabecera de planta, junto a un incremento de la generación de olores. El control de los olores es un problema de creciente importancia dado que el desarrollo comercial, social y residencial viene condicionado por la presencia de las plantas de tratamiento existentes y condiciona a su vez la ubicación de nuevas instalaciones.

6.5 EL PROBLEMA DE LOS VERTIDOS INDUSTRIALES

El número de industrias que vierten residuos a las redes de alcantarillado domésticas ha aumentado notablemente en los últimos 20 a 30 años. Se está replanteando la validez de la práctica general de combinar vertidos industriales (pretratados o parcialmente pretratados) con vertidos domésticos debido a los efectos tóxicos que a menudo generan los residuos industriales, incluso cuando su presencia se da en concentraciones muy bajas. De cara al futuro, muchos principios estudian la posibilidad de tratar ambos tipos de vertido por separado, o bien exigir un tratamiento más avanzado de los vertidos industriales antes de ser vertidos a los colectores de aguas domésticas, con el fin de que no produzcan daño alguno.

6.6 IMPACTO DE LAS AGUAS PLUVIALES Y LAS FUENTES NO LOCALIZADOS DE CONTAMINACION

Conforme va aumentando el número de plantas con tratamiento secundario o avanzado, aumenta la importancia de las aguas pluviales y fuentes no localizadas de contaminación (p.e. aguas que provienen de zonas de regadío, y que pueden contener abonos, fertilizantes) en la calidad de los cursos de agua del país. En muchos ríos y lagos, apenas será perceptible la mejoría provocada por un aumento en los niveles de tratamiento de las plantas hasta que no se controlen las aguas pluviales y las aguas procedentes de fuentes no localizadas de contaminación.

6.7 ALIVIADO DE CAUDALES DE COLECTORES UNITARIOS

El aliviado de caudales de las redes de alcantarillado de tipo unitario, está considerado como un problema difícil y complejo que es preciso resolver, especialmente en el caso de las ciudades más antiguas. El aliviado de caudales importantes puede tener un efecto importante en la calidad del agua, y puede impedir que se alcancen los objetivos establecidos. El control de este fenómeno puede conducir a importantes modificaciones en los sistemas de recogida de las aguas, contemplando la posibilidad de la construcción de depósitos que puedan absorber parte de los caudales punta, o la adopción de medidas e instalaciones de tratamiento adicionales. Muchas de estas medidas comportan una elevada inversión, y resultan inviables para

los municipios pequeños al carecer de suficiente ayuda financiera por parte del gobierno.

6.8 OPERACIONES DE TRATAMIENTO, PROCESOS Y CONCEPTOS

Actualmente la mayoría de las operaciones y procesos unitarios empleados en el tratamiento de aguas residuales están siendo sometidos a una intensa y continua investigación, tanto desde el punto de vista de ejecución como de aplicación de los mismos. Como consecuencia de ello se han desarrollado nuevas operaciones y procesos de tratamiento y se han llevado a cabo muchas modificaciones y procesos de tratamiento y se han llevado a cabo muchas modificaciones en los procesos y operaciones existentes con el objetivo de conseguir su adecuación a los recientes y rigurosos requerimientos que se establecen de cara a la mejora ambiental de los cursos de agua. Además de las innovaciones y mejoras en los métodos de tratamiento convencionales, se están investigando y desarrollar los métodos de tratamiento convencionales, se están investigando y desarrollar los métodos de tratamiento y tecnologías alternativas como puede ser el caso del uso de plantas acuáticas. La aparición de métodos de tratamiento y caracterización de aguas residuales más avanzados depende pues de los buenos resultados obtenidos siguiendo ambas líneas de investigación.

A pesar de que la mayoría de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual pueden ser tratados usando métodos convencionales, esta

creciendo el número de tales compuestos que no son susceptibles de ser tratados siguiendo dichos procedimientos. Además, en muchos de los casos, la información es escasa o nula acerca de los efectos que dichos compuestos tienen, a largo plazo, sobre el medio ambiente. Una vez sean conocidos estos efectos, el interés se centrará en el desarrollo de tratamientos especiales para la eliminación de contaminantes específicos. La liberación incontrolada de COV y COVT en las plantas de tratamiento puede conducir a la necesidad de cubrir las instalaciones de pretratamiento y tratamiento primario de las plantas, así como la implantación de tratamientos especiales para el proceso de los compuestos que se liberan. En algunos casos puede ser necesario un control previo en origen para eliminar estos compuestos antes de incorporar los residuos a los sistemas de recolección.

Debido a la naturaleza cambiante de las aguas residuales se está intensificando el estudio de la tratabilidad de las aguas residuales, especialmente en relación con algunos compuestos específicos. Tales estudios son de especial importancia a la hora de proponer y desarrollar nuevos métodos de tratamiento. Por lo tanto, el ingeniero debe comprender las generalidades y metodología implícitas en: (1) la estimación de la tratabilidad de un agua residual (doméstica o industrial); (2) La realización de estudios en plantas piloto y laboratorios y (3) la transformación de datos experimentales en parámetros de proyecto.

La relación entre el proyecto de la red de alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales es objeto de creciente atención. Durante el transporte del

agua residual por la red de alcantarillado, el agua sufre transformaciones tanto químicas como biológicas. La naturaleza de estas transformaciones depende en gran medida del diseño de la red y de la naturaleza de los residuos. En el futuro, cuando llegue a conocerse con mayor claridad la influencia de estas transformaciones en el tratamiento del agua residual, el proyecto de la red de alcantarillado y el de las instalaciones de tratamiento deberá estar coordinado en un grado mucho mayor que en el pasado.

6.9 PROBLEMÁTICA DE LA SALUD PUBLICA Y EL MEDIO AMBIENTE.

Se está vigilando muy de cerca la emisión de contaminantes al medio ambiente. Como ejemplo podemos citar el ya mencionado caso de la emisión de COV y COVT en la red de alcantarillado y en las plantas de tratamiento, y que constituye una preocupación cada vez mayor. Los olores son, a ojos de la opinión pública, una de las preocupaciones ambientales más serias. Se están utilizando nuevas técnicas para cuantificar el desarrollo y movimiento de los olores que pueden emanar de las instalaciones relacionadas con las aguas residuales, y se están haciendo grandes esfuerzos para diseñar instalaciones que minimicen el desarrollo de olores, sean capaces de contenerlos de manera efectiva, y dispongan de tratamientos adecuados para su destrucción.³

³ Metcalf & Eddy Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1 Pág. 2-9

6.10 EFECTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

Al haberse quedado desfasados los programas federales de subvenciones, muchos principios están teniendo que tomar decisiones comprometidas en relación a la financiación de las mejoras en la gestión de las aguas residuales. Es por ello que se está estudiando con detalle la efectividad de todas las instalaciones y mejoras de instalaciones existentes que se proponen, especialmente en cuanto al funcionamiento de las plantas de tratamiento, energía, utilización de recursos, costes de funcionamiento y de mantenimiento, así como costes de capitalización.

En los últimos 15 años se ha invertido mucho dinero en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales. Desgraciadamente, el funcionamiento de muchas de estas instalaciones no ha satisfecho plenamente las condiciones exigidas por la normativa sobre vertidos. En muchos casos, y con sobrecostes importantes, han tenido que ser replanteadas y modificadas instalaciones recién construidas, para cumplir las normas existentes y para asegurar un mejor rendimiento. Actualmente, en varios estados se exige un certificado de funcionamiento antes de que se lleve a cabo el pago de una obra, en el caso de que ésta sea beneficiaria de una subvención gubernamental. De cara al cumplimiento de las cada vez más exigentes normativas sobre vertidos, será necesario el diseño de plantas de tratamiento más modernas cuya explotación y mantenimiento sean más sencillos.

La necesidad de conservar y ahorrar energía es evidente. En la actualidad, el estudio detallado de los aspectos energéticos tiene un papel importante en cualquier proyecto. Se está prestando gran atención a la elección de proceso que conserven la energía y los recursos de que se dispone. En el proyecto de plantas de tratamiento existe una tendencia cada vez más generalizada a minimizar el consumo de energía, prestando atención a la ubicación de la planta e incorporando instalaciones que permitan recuperar energía para el consumo interno de la planta, como es el caso de la instalación de placas de energía solar para la elevación de la temperatura en edificios y tanques en los que los procesos de tratamiento que se llevan a cabo así lo precisen.

Los costes de explotación y mantenimiento desempeñan también un papel importante. Es por ello, que el análisis de la explotación de las plantas de tratamiento está recibiendo creciente atención, especialmente para las pequeñas comunidades con presupuestos reducidos puesto que los gastos de explotación corren a cargo, en su totalidad, de las administraciones locales. Por ello está ganando popularidad la tendencia a buscar asesoría técnica de profesionales o sociedades ajenas al proyecto para el estudio de todas las modificaciones propuestas, lo cual se está traduciendo en un ahorro considerable en los costes.⁴

⁴ Tratamiento y Disposición de residuos líquidos. Santafé de Bogotá D.C. Noviembre 1995

6.11 PLANTAS PEQUEÑAS Y SISTEMAS INDIVIDUALES DE TRATAMIENTO

Durante los últimos 10 años, el interés por los sistemas de tratamiento de pequeño tamaño se ha visto a menudo eclipsado por la preocupación por el proyecto, construcción y explotación de grandes infraestructuras regionales. Las plantas de pequeño tamaño se habían concedido, con frecuencia, como simples modelos a escala reducida de grandes plantas de tratamiento. Como consecuencia de ello, muchos de ellos consumen gran cantidad de energía, e incurren en elevados gastos de explotación. Debido a estos argumentos económicos, energéticos y ambientales, el proyecto, diseño y explotación de las plantas pequeñas está siendo objeto de una concienzuda revisión. Se están desarrollando nuevos y más modernos diseños, y se están empleando también nuevos sistemas de tratamiento.

6.12 PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los principales objetivos de los tratamientos biológicos del Agua Residual (A.R.) son:

- a. Coagulación y eliminación de los sólidos coloidales.
- b. La estabilización de la materia orgánica (M.O.).

- En el caso del agua residual doméstica (A.R.D.) el principal objetivo es remover la materia orgánica.
- En el caso del agua residual agrícola (A.R.A.) se pretende reconocer sales y nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo que son capaces de estimular el crecimiento de plantas acuáticas.
- Para el caso de las aguas residuales industriales (A.R.I.) , el fin es remover la concentración de los compuestos orgánicos e inorgánicos dado que muchos de estos compuestos son tóxicos a los microorganismos e inhibidores de los procesos biológicos necesitándose implementar un proceso de pretratamiento específico.

En la mayoría de los casos el agua residual puede ser tratada biológicamente.

Los procesos biológicos se clasifican según la dependencia de oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables del tratamiento de los residuos. En los procesos aerobios, la estabilización de los residuos se consigue mediante microorganismos aerobios y facultatorios.⁵

- Bacterias

⁵ ECKENFELDER W. Wesley. "Activated sludge process, desing and control" water quality management library. 1992

- Algas verde – azul (cianóferas)
- Mucilagos.
- Hongos
- Protozoos
- Algas
- Plantas de semillas
- Helechos
- Musgos
- Crustáceos.
- Rotíferos.
- Virus.

BACTERIAS

Las bacterias son protistas unicelulares. Consumen alimentos solubles y por lo general, se encuentran donde haya alimentos y humedad. Sus formas generales son: esféricas, cilíndricas y helicoidales.

HONGOS

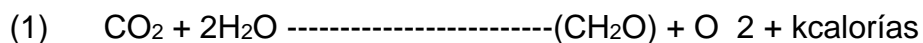
Los hongos son protistas heterótrofos, no fotosintéticos y multicelulares. Los hongos se clasifican generalmente por su modo de reproducción. Los hongos se reproducen sexual o asexualmente, por escisión, germinación y formación de esporas.

La mayoría de los hongos son aerobios estrictos, pueden crecer con muy poca humedad y toleran un medio ambiente con Ph relativamente bajo. El Ph óptimo para la mayoría de las especies es 5.6 y el intervalo es de 2 a 9.

ALGAS

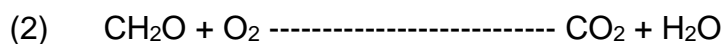
Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, autótrofos y fotosintéticos. No son deseables en los abastecimientos de agua porque producen malos olores y sabores desagradables. En las lagunas de oxidación, las algas son un valioso elemento porque producen oxígeno a través de la fotosíntesis “por la noche”. Cuando no ya luz para producir fotosíntesis, consumen el oxígeno en la respiración. La respiración también tiene lugar en presencia de la luz solar; sin embargo la reacción neta es la producción de oxígeno. Las ecuaciones (1) y (2) a continuación, describen el proceso:

Fotosíntesis



Nuevas células de algas

Respiración



Tipos de algas:

- Verde (clorophyta).
- Verdes móviles (Volvocales englucophyta).
- Verde azules (cianophytas).

PROTOZOOS

Son protistos móviles microscópicos y por lo general, unicelulares. La mayoría de los protozoos son heterótrofos aerobios, aunque algunos son anaerobios. Los protozoos son generalmente de un orden de magnitud mayor que las bacterias y suelen consumir bacterias como fuentes de energía.

Los protozoos actúan como purificadores de los afluentes de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales al consumir bacterias y partículas orgánicas. Ejemplos: El paramicciun, la verticella, etc.

ROTIFEROS

Los rotíferos son animales aerobios, heterótrofos y multicelulares. Los rotíferos son muy eficaces al consumir bacterias dispersas y floculados, así como pequeñas partículas de materia orgánicas.

Su presencia en un afluente indica un proceso de purificación biológico aerobio muy eficiente.

CRUSTACEOS

Los crustáceos son animales aerobios heterótrofos y multicelulares y tiene un cuerpo duro o coraza. Su presencia en un afluyente indica que éste contiene baja materia orgánica y que es rico en oxígeno disuelto.

VIRUS

Es la más pequeña estructura biológica que contiene toda la información necesaria para su propia reproducción.

Los virus suelen clasificarse según el huésped que infectan. Muchos virus que producen enfermedades al hombre se saben que son excretados en las heces humanas. Por lo tanto, en el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas es importante el control de virus mediante la implementación de procesos de desinfección como cloración.

Reinos de los microorganismos

Reino	Miembros representativos	Caracterización
Animal	Rotíferos Crustáceos	Multicelulares con diferenciación del tejido.
Vegetal	Musgos Helechos Plantas de semillas.	
Protistos		

Superiores	Algas Protozoos Hongos Mucilagos	Unicelulares o multicelulares su diferenciación de tejidos.
Inferiores	Algas verdiazules Bacterias.	

En los procesos anaerobios se utilizan los microorganismos anaerobios y facultativos, cuando se le llama aerobio – anaerobios o facultativos.

6.13 TRATAMIENTOS AEROBICOS

El objetivo de este tipo de tratamiento es la remoción, mediante la ayuda de microorganismos y en presencia de oxígeno, de la materia orgánica soluble no tratada en procesos previos y permitir una remoción adicional de sólidos suspendidos, en forma similar pero más efectiva en que ocurrirá en un cuerpo hídrico receptor de adecuada capacidad asimilativa. Este tratamiento remueve alrededor del 85 – 90% de DB05 y SST pero no remueve significativamente nitrógeno, fósforo, metales pesados, sustancias orgánicas no biodegradables, bacterias y virus, para lo cual se requeriría tratamiento adicional.

6.13.1 Requerimientos básicos. Los tratamientos biológicos buscan poner a las comunidades microbianas presentes en los reactores, en contacto directo con las aguas residuales en tal forma que puedan consumir la materia

orgánica disponible. Estos organismos comprenden bacterias, protozoos, rotíferos, nematodos, hongos y algas principalmente. En presencia de oxígeno atmosférico, estos organismos convierten la materia orgánica en dióxido de carbono, agua, material celular y productos inertes.

Los requerimientos básicos para el tratamiento aeróbico son:

- a. Presencia de una población activa de microorganismos.
- b. Adecuado contacto entre la población de microorganismos y la materia orgánica.
- c. Disponibilidad de oxígeno atmosférico.
- d. Disponibilidad de nutrientes.
- e. Condiciones ambientales favorables tales como temperatura, PH, tiempo de contacto, etc.

Al entrar en contacto la materia orgánica o substrato con los microorganismos se produce un rápido crecimiento de la masa biológica, llamada fase de crecimiento logarítmico. Esta condición se da en un reactor cuando el alimento excede a los microorganismos, en cuyo caso la tasa de crecimiento celular está supeditada a la capacidad microbiana de procesar el "substrato". Al final de esta fase los microorganismos crecen a su máxima tasa y por lo tanto consumen materia orgánica a su máxima eficiencia. En el caso de un limitado suministro de substrato la tasa de crecimiento declina

inhibiendo el metabolismo celular y reduciendo la masa biológica, condición conocida como fase endógena.

El crecimiento microbiano puede darse mediante el establecimiento de poblaciones que flotan en el reactor biológico, en cuyo caso el proceso biológico es conocido como de crecimiento suspendido o mediante poblaciones que se fijan sobre un medio sólido, mediante procesos conocidos como de crecimiento fijo.⁶

6.14 ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE BIODISCOS

Entre los sistemas de tratamientos biológicos-aeróbicos de aguas residuales, se encuentran los discos biológicos rotatorios, que corresponden a una optimización del concepto de filtros percoladores.

Durante la primera guerra mundial, se utilizó en muchas barracas, un sistema de tratamiento que consistía en una serie de laminas de asbesto-cemento sobre las que crecía la biomasa al ir fluyendo el agua residual a través de las láminas. El oxígeno se suministraba con aire comprimido. Este sistema tenía problemas de taponamiento, y consiguientes malos olores debido a la condición anaeróbica que se producía.

Al proporcionar movimiento a estas laminas se pretendía obtener O₂ de la atmósfera, pero el costo que implicaba era mayor comparándolo con el

⁶ Ibid.

sistema de suministro de oxígeno por el mecanismo de aire comprimido, además de los problemas mecánicos que se presentaban para mover masas tan pesadas.

La patente original del sistema de biodiscos fue registrada por A. T. Maltby en 1928, quien utilizó discos de asbesto-cemento, material muy duradero, pero que por su elevado peso incrementaba los costos de funcionamiento. Buscando materiales más livianos se utilizaron discos de aluminio, con lo cual se buscaba inicialmente remover carbono orgánico. Con el advenimiento de materiales plásticos livianos y resistentes, se comenzaron a construir los primeros sistemas de biodiscos utilizando poliestireno. Hacia 1960 el sistema presentó un gran auge tanto en Europa como en los Estados Unidos, donde se vinieron construyendo numerosas unidades de biodiscos.⁷

6.15 FUNDAMENTO TEORICO

6.15.1. Descripción del proceso. Los discos biológicos rotatorios son un sistema de tratamiento biológico-aeróbico en lecho fijo. Donde la biomasa está fija y adherida a unos discos parcialmente sumergidos en el agua residual a tratar. Los discos rotan lentamente sostenidos por un eje, que puede ser perpendicular o longitudinal a la dirección del flujo.

⁷ METCALF & Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales. Volumen 2. Pág. 714 – 723
ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Pág. 607 - 627

Esta rotación permite que al entrar en contacto el disco con el agua, los microorganismos presentes en la biomasa adherida al disco, tomen el alimento del líquido y que otros microorganismos que se encuentren en el agua residual se adhieran a la biomasa. Al entrar en contacto el disco con el aire los microorganismos toman el oxígeno necesario para lograr una completa estabilización de la materia orgánica.

A medida que pasa el tiempo, el espesor de la película aumenta hasta alcanzar un límite máximo, presentándose en la interfase disco-película una situación anaeróbica, por falta de oxígeno y nutrientes, ocasionándose así un desprendimiento de la biomasa. Parte de esta biomasa se sedimenta y la otra queda en suspensión debido a la agitación producida por la rotación de los discos; la biomasa en suspensión ayuda al proceso de estabilización de la materia orgánica, pues forma un floc similar al producido en los sistemas de lodos activados.

El sistema puede alcanzar un mayor grado de tratamiento, si se colocan los discos en etapas, de tal forma que el efluente de una etapa sea el efluente de la etapa siguiente.

6.15.2. Funcionamiento. El efluente llega inicialmente a un sedimentador primario, en donde se eliminan areniscas, materias gruesas y aceites; seguidamente el agua residual pasa al reactor, que es donde se realiza el tratamiento biológico propiamente dicho.

El medio de contacto, o sea los discos proporcionan un medio de soporte sólido y estable para la biomasa, el cual debe ser inherente a las sustancias en contacto con él y además ser lo suficiente rígido para no permitir que se deforme.

La energía más utilizada para imprimir movimiento a los discos es la electricidad.

Por ultimo el agua debe pasar a un sedimentados secundario, para separar la parte sólida, conformada por lodos suspendidos, del agua tratada.

6.15.3. Fundamento biológico del proceso. En el tratamiento de aguas residuales efectuado en reactores de película biológica, se coloca en contacto el agua residual con una película microbiana mixta, en forma de una película de lama adherida a la superficie de un medio de contacto sólido. El sistema de biodiscos corresponde a sistemas de medio en movimiento, en donde, la película de lama microbiana y el medio sólido de soporte a la que están adherida, se mueven a través del líquido que está bajo tratamiento. La película biológica está compuesta por dos zonas que se forman a medida que se trata el agua residual: una zona que es aeróbica y la otra anaeróbica, sin embargo el aporte anaeróbico al tratamiento es insignificante comparado con el anaeróbico; de ahí que se consideren los sistemas de biodiscos para aplicaciones aeróbicas de remoción de DBO y nitrificación exclusivamente.

La población microbiana presente en la biopelícula, es la causante de la degradación de la materia orgánica que se encuentra en el agua residual. Esta materia es oxidada y convertida a su vez en nueva biomasa, subproductos metabólicos solubles y productos finales gaseosos. La formación de la biopelícula comienza cuando los microorganismos existentes en el agua residual se empiezan a adherir al medio de contacto, estos microorganismos crecen tomando los nutrientes del agua residual y el oxígeno de la atmósfera.

Al comienzo de la formación de la biopelícula se cuenta con cantidades suficientes de nutrientes y de oxígeno, con lo cual los microorganismos crecen aceleradamente aumentando considerablemente el espesor de la biopelícula. Sin embargo a medida que se va engrosando la película, el oxígeno y los nutrientes son consumidos por la población microbiana que se encuentra sobre la superficie del disco, lo que da lugar a que el oxígeno no penetre todo el espesor de la biopelícula, estableciéndose un ambiente anaeróbico en el interior de la lama microbiana. La mayoría de los microorganismos no pueden adaptarse al medio anaeróbico mueren por falta de oxígeno perdiendo la facultad de adherencias a la superficie del medio y en estas condiciones el paso del disco a través del agua hace que se presente fuerza cortantes que generan el desprendimiento de la biopelícula creándose de esta manera una autorregulación en el espesor de la película. Se considera por parte de algunos autores que la película biológica llega a tener un espesor de 3 a 4 mm antes de comenzar a desprendimiento. Este

autoregulamiento de las películas favorece el tratamiento ya que permite una separación entre discos consecutivos no mayor de 2 cm, facilitando así poder contar con una gran área superficial en una longitud corta.

El proceso biológico en biodiscos sigue la siguiente secuencia:

1. **Adherencia.** Los microorganismos presentes en el agua residual comienzan a adherirse al disco formando la película biológica.
2. **Adsorción.** El biodiscos pasa a través del agua residual, arrastrando sólidos coloidales y solubles, mediante enlaces físicos y químicos, proporcionando la materia orgánica para el alimento de los microorganismos.
3. **Descomposición biológica y oxidación.** Los microorganismos mediante la respiración descomponen las estructuras orgánicas que han sido adsorbidas en el paso anterior.
4. **Disolución de los productos de oxidación.** Los desechos que quedan por la acción de la oxidación, son disueltos en la capa líquida que rodea la película biológica, de la cual se desprende anhídrido carbónico, compuestos amoniacales y agua.
5. **Descomposición de compuestos amoniacales.** Esta ocurre por acción de microorganismos nitrificantes y en las etapas finales del sistema donde la carga orgánica a sido removida considerablemente; requiere un tiempo de detención apropiado.

6. regulación de la biomasa. Se genera cuando la biopelícula ha alcanzado un espesor que ocasione su desprendimiento del medio de soporte sólido.

6.15.4. Espesor de biofilm. Se estima que el espesor del biofilm activo varía entre 0.2 mm, en concentraciones bajas de sustratos, hasta 3.0 mm, con alta concentración de sustrato, cuando hay limitación de oxígeno en el film.

6.15.5. Ecología del sistema de biodiscos. La población de microorganismos depende de la carga contaminante y de la clase y categoría de estos contaminantes. En los biodiscos, depende esta población también de la etapa que se considere, ya que en éstos se establece una selección biológica por niveles.

Puede decirse que los microorganismos responsables de la eliminación de los contaminantes biodegradables, presentes en las aguas residuales, y que se fijan a los elementos integrantes de biodiscos, son los filamentosos y las bacterias heterótrofas no filamentosas. Las especies bacterianas que se encuentran fijadas, cambian a medida que se desarrollan las distintas etapas de la depuración. Las bacterias que utilizan los compuestos de carbono, se fijan predominantemente a los elementos que se encuentran en las etapas iniciales, donde la concentración de estos materiales es relativamente alta. Las bacterias nitrificantes (Nitrosomas y Nitrobacter), se encuentran

fundamentalmente fijadas a los elementos situados en las últimas etapas de la depuración, donde la concentración de materia carbonada es mucho menor.

6.15.6. Factores que controlan el comportamiento del sistema. Existen diversos criterios por partes de los investigadores, sobre cuáles son los parámetros y factores más importantes en el control del sistema: A continuación se hace referencia de cada uno de estos parámetros:

1. **Carga orgánica.** Se define como la masa de DBO_5 o DQO por unidad de área de disco y por unidad de tiempo. Algunos autores consideran la carga orgánica como el criterio de diseño cuando el afluente posee una concentración alta de DQO o DBO_5 .
2. **Carga hidráulica.** Se describe como la tasa a la que se suministra el agua residual por unidad de área de discos. Se sugiere este parámetro sea clave en el diseño cuando se operen sistemas con afluentes bajas en concentración de DQO soluble.
3. **Película biológica.** La eficiencia en la remoción, depende de la naturaleza de la población microbiana, así del espesor de la biopelícula.
4. **Tiempo de retención hidráulico.** Cuando el tiempo de retención hidráulico es mayor, puede esperarse un efluente de mejor calidad, pero el volumen tratado es menor.
5. **Velocidad de rotación de los discos.** Si la velocidad de rotación es muy alta, el tiempo de contacto de la biomasa, con el aire o el agua es

tan bajo que no permite que se sucedan las reacciones para degradar la materia orgánica; si la velocidad de rotación es muy baja, se produce la muerte de los microorganismos por inanición, al demorar mucho tiempo en tomar alimento.

6. **Área superficial del medio.** La cantidad de oxígeno que se toma de la atmósfera, depende del área superficial del medio de contacto y de la velocidad de rotación. Los discos proporcionan una gran área superficial para la biopelícula y permite que el oxígeno adherido a la superficie mojada sea introducido al agua residual.
7. **Numero y tamaño de etapas.** Se logra una mayor eficiencia en el tratamiento si el área total de los discos se divide en etapas y si las primeras son más grandes, o sea con un mayor número de discos.
8. **Temperatura y pH.** Se deben mantener dentro de ciertos intervalos para garantizar que el sistema de tratamiento sea eficiente.
9. **Características del agua residual.** Las aguas residuales domésticas, poseen características muy similares entre sí; pero las industriales varían según el tipo de industrias, y esto influye directamente en la eficiencia del tratamiento.⁸

6.15.7. Ventajas y desventajas de los biodiscos. Entre las ventajas se pueden considerar las siguientes:

⁸ PULIDO, Ricardo. ESCOCEJA, Carlos. Reactores Biológicos Rotatorios , aeróbicos en el tratamiento de aguas residuales.

1. Requiere menos espacio para tratar iguales volúmenes de agua residual que otros sistemas.
2. Puede lograr altos niveles de remoción, con tiempos de retención relativamente cortos.
3. Tiene gran capacidad para asimilar cargas choques (orgánicas e hidráulicas).
4. El sistema asimila cargas con materiales tóxicos, debido a los tiempos de retención cortos.
5. Tiene bajos requerimientos de energía.
6. Existe un completo contacto entre la película biológica y el agua residual, mientras que en los otros sistemas esto no se garantiza.
7. Se puede obtener remociones hasta el 95% de la DBO_5 , además el sistema, es eficiente para la nitrificación.
8. El sistema permite un tratamiento por etapas.

Entre las desventajas se pueden mencionar las siguientes:

1. Los cojinetes y unidades de impulsión requieren frecuente mantenimiento.
2. Se debe tener especial cuidado con el diseño del eje y la transmisión, ya que se pueden presentar fallas estructurales o funcionales.
3. Requiere energía externa para su funcionamiento.
4. El costo del capital inicial es alto para compras de equipos es alto.

6.15.8. Dificultades en procesos de biodiscos. Las dificultades, en los procesos con estos sistemas, pueden provenir, al igual que en otros procesos biológicos. Por diferentes causas.

1. **Perdidas de la biomasa.** Otras veces ocurre que se produce un excesivo desprendimiento de la biomasa fijada al disco. Esto puede ser debido a que las aguas residuales a depurar contienen sustancias inhibidoras que actúan sobre la biomasa.
2. **Desarrollo de biomasa blanca.** Ocurre cuando se desarrollan organismos de color blanco sobre los elementos, Esto no afecta de un modo inmediato sobre la depuración. Los organismos blancos son probablemente thiotrix o bebbiata, que aparecen en áreas limitadas, si esta forma de biomasa domina en la superficie, puede esperarse una reducción en los rendimientos de la depuración, la aparición de esta anomalía es debida a la septicidad de las aguas residuales o la existencia en altas concentraciones de ácido sulfhídrico.
3. **Disminución de la eficiencia depuradora.** La disminución del rendimiento puede deberse a causas, como:
 - ❖ Reducción de la temperatura de las aguas residuales, una temperatura por debajo de 10°C, tendrá como consecuencia la reducción de la actividad biológica y el deceso, por otra parte, que la

temperatura es un parámetro muy crítico en las plantas diseñadas para nitrificación.

- ❖ Variación notable del caudal.
- ❖ Variación notable de la carga orgánica.
- ❖ Alteraciones de pH, deben mantenerse un pH entre 7.1 y 8.4, para un buen funcionamiento del sistema.
- ❖ Acumulación de sólidos en los discos, puede bloquear el paso de aire generando condiciones anaerobias.⁹

6.15.9. Sustancias inhibidoras

Tabla 3

Sustancias que pueden inhibir la reducción de la DBO		
Amoniaco	Cromo	Mercurio
Arsénico	Cianuros	Níquel
Boro	Hierro	Plata
Cadmio		Cinc
cromo		Fenoles
	Plomo	
	Magnesio	

Fuente: HERNÁNDEZ, Aurelio. Depuración de Aguas Residuales

⁹ METCALF & Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales. Volumen 2. Pág.
 ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Pág.
 SALAZAR, Alvaro. Depuración de aguas residuales.
 WINKLER, Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho. 1995. Editorial Limusa. Pág. 235 - 236

Tabla 3.1

Concentración de sustancias que pueden inhibir la Nitrificación			
Sustancia	mg/L	Subsustancia	mg/L
Cromo	0.2	Níquel	0.25
Cobre	0.05	Sulfatos	500.0
Cianuros	0.3	Cinc	0.1
Plomo	0.5	Fenol	5.0
Magnesio	50.0	2-Dinitro fenol	150.0

Fuente: HERNÁNDEZ, Aurelio. Depuración de Aguas Residuales

6.15.10. Características típicas de los biodiscos.

Tabla 4

AFLUENTE	SEDIMENTADO
CARGA HIDRÁULICA	0.02-0.10 m/d
Para la remoción de DBO, DBO < 30; SS < 30 mg/L	0.08-0.16 m/d
Para remoción de N	0.06-0.07 m/d
Para DBO < 15; SS < 15 mg/L y Nitrificación	0.03-0.08 m/d
CARGA ORGANICA	10-30 g DBO/m ² .d
Primera etapa	12-20 g DBO soluble/m ² .d 29-39 g DBO total/m ² .d < 100 g DBO/ m ² .d 50-60 g DBO/m ² .d
TIEMPO DE RETENCION	50-70 minutos
COEFICIENTE DE TEMPERATURA	1.02-1.04
EJES	
Velocidad de rotación	1-2 RPM

Longitud	< 7.5 m
DISCOS	
Numero de discos por eje	40-60
Numero de etapas en serie	4-5
Diámetro	2.0-3.6 m
Espesor	10 mm
Material, planos o corrugados	Poliestireno o polietifeno
Sumergencia	40%
Velocidad de rotación periférica	20-30 cm/s
Separación	3-4 cm
Numero de discos por etapas	4-10
SEDIMENTADOR SECUNDARIO	
Carga de sólidos por caudal pico	147-176 Kg/m ² .d
Tiempo de retención	4 h
Carga superficial	33 m/d
EFLUENTE	
DBO total	15-30 mg/L
DBO soluble	7-15 mg/L
NH ₃ -N	1-10 mg/L
NO ₃ -N	2-7 mg/L
LODOS	
Producción	0.4-0.5 Kg./Kg. DBO removida
Concentración de sólidos	2-5%
EFICIENCIA	
Remoción de DBO	80-95%
ENERGIA	
Consumo	0.6 W/m ²

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo. Documento de la Universidad Nacional de Colombia.

6.15.11. Problemas operacionales. Los sistemas operacionales que pueden presentar los biodiscos, están relacionados con la rotura de los ejes, rotura de los medios, fallos en los cojinetes de apoyos, y problemas de olores. Los fallos y roturas de ejes han sido el problema más importante relacionado con el equipo, puesto que representa la pérdida de una unidad para el proceso y posibles daños a la parte del medio. La rotura de los ejes se puede atribuir a un incorrecto diseño estructural, a fatiga de metales, o a la excesiva acumulación de biomasa en el medio. La rotura del medio se puede producir por exposición a Altas temperaturas, disolventes orgánicos o a la radiación ultravioleta, o debido a un inadecuado diseño de los sistemas de soporte del medio. Los fallos en los cojinetes de apoyo se han atribuido a la falta de lubricación. Los problemas de olores se producen en la mayoría de los casos, debido a cargas orgánicas excesivamente elevadas, especialmente en las primeras etapas de los procesos.

Para solventar estos problemas y para facilitar las labores de mantenimiento, se han introducido modificaciones en los equipos. Recientemente se han desarrollado unidades con mayor sumergencia para reducir las cargas sobre el eje y los cojinetes, y para mejorar la fiabilidad del sistema.¹⁰

¹⁰ METCALF & Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales. Volumen 2.

6.15.12. Modelos para el diseño y calculo de biodiscos.

Podemos considerar los siguientes modelos.

❖ SCHULZE

$$DS / dt = - K \cdot S: S / S_0 = 10^{-k \cdot v_1}: \log (S/S_0) = -K \cdot A/Q$$

Siendo:

$K = (m^2 \cdot m^3 \cdot d^{-1})$ constante de Schulze

$A =$ superficie total soporte (m^2)

$Q =$ caudal tratado ($m^3 \cdot d^{-1}$)

$S_0 =$ carga del agua a tratar ($mg \text{ DBO} \cdot L^{-1}$).

❖ KORNEGAY Y ANDREWS

$$Q (S_0 - S_1) = C \cdot A \cdot (S_1 / K_s + S_1)$$

Siendo:

$C =$ la capacidad máxima de depuración ($g \text{ DBO} \cdot m^2 \cdot d^{-1}$)

$K_s =$ constante de saturación del biofilm ($mg \text{ DBO} \cdot L^{-1}$)

❖ ECKENFELDER

$$Q / A = (S_0 - S_1) = K S_1$$

$K =$ constante cinética del modelo de Eckenfelder

❖ POPEL

$$A = 0.022 \cdot Q (S_0 - S_1)^{1.4}$$

Donde:

$S_0 =$ carga de DBO inicial (g / m^3)

$S_1 =$ carga de DBO en el efluente de etapa i (g/m^3)

A = superficie (m²)

Q = caudal (m³/dia)

❖ HANSFORD

$$S = Qs_0 / [Q + Q_0(1 + b_{11} + b_{12}/I + K_i) + K_L A_s (K_L / K_L + 1)]$$

Donde:

K_i = constante adimensional del modelo de HANSFORD.

A_s = superficie sumergida (m²).

K_L = coeficiente de transportes liquido / biofilm / m. d⁻¹

B₁₁ y b₁₂ = elementos de la matriz para valorar la evolución de la DBO con el giro del tambor.

Fuente de las ecuaciones anteriores: HERNÁNDEZ, Aurelio. Depuración de Aguas Residuales. ¹¹

6.16 Sedimentación. Los diferentes tipos de sedimentación que pueden ocurrir, con base en la concentración de partículas y en el tipo de partículas, se describen en el texto de acuípurificación.

En el tratamiento de aguas residuales se usa la sedimentación para los siguientes propósitos:

¹¹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales.

- Sedimentación primaria para remover sólidos sedimentales y material flotante de aguas residuales crudas, reduciendo así el contenido de sólidos suspendidos.
- Sedimentación intermedias para remover los sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos intermedios, como los filtros percoladores de primera etapa.
- Sedimentadores secundarios para remover la biomasa y sólidos suspendidos de reactores biológicos secundarios, como los procesos de lodos activados y los filtros percoladores.
- Sedimentadores terciarios para remover sólidos suspendidos y floculados, o precipitados químicamente, en plantas de tratamiento de aguas residuales.

En el diseño de tanques de sedimentación se deben tener en cuenta los siguientes criterios generales:

- Proveer una distribución uniforme del afluente para minimizar la velocidad de entrada y el cortocircuito.
- Proveer adecuada y rápida recolección del lodo sedimentado, así como de la espuma.
- Minimizar las corrientes de salida, limitando las cargas de rebose sobre el vertedero. El efluente debe salir sin alterar el contenido del tanque.

- Proveer profundidad suficiente para almacenar lodo y permitir su espesamiento adecuado.
- Proveer un borde libre mayor de 30 cm.
- Reducir efectos del viento mediante pantallas y vertederos.
- Evaluar opciones de diseño.
- Repartir uniformemente el caudal entre las unidades de sedimentación.

Existen, básicamente, tres tipos de tanques de sedimentación: tanques de flujo horizontal, tanques de flujo radial y tanques de flujo ascensional. Los primeros son tanques rectangulares en planta, con el fondo inclinado hacia una tolva de extracción de lodos en el extremo de entrada. Aunque se denominan tanques de flujo horizontal, el agua residual ingresa en un nivel inferior al de la cresta del vertedero de salida y durante su viaje a través del tanque el flujo está expuesto a corrientes de densidad y cortocircuito; los sólidos más pesados se depositan en el extremo de entrada y los más livianos, progresivamente, hacia la salida. Los tanques de flujo radial son circulares en planta, con el fondo inclinado hacia un pozo central; el afluente ingresa por el centro, en un nivel inferior al del vertedero perimetral de salida, existiendo un flujo tanto radial como ascensional, de velocidad decreciente entre la entrada y la salida. Los tanques de flujo ascensional pueden ser cuadrados o circulares en planta, constituidos por una pirámide o cono invertido, con el fondo fuertemente inclinado hacia un pozo central; el afluente entra por el centro y fluye hacia abajo, para luego moverse radial y ascensionalmente hacia el vertedero de salida.

Los tanques de sedimentación también pueden clasificarse con base en el método de recolección y extracción de lodos. Básicamente, existen cuatro tipos:

- Tanques de flujo horizontal con recolección manual y remoción mediante vaciado del tanque.
- Tanques de flujo horizontal con recolección mecánica y remoción mediante vaciado del tanque.
- Tanques de flujo ascensional con recolección mediante asentamiento en una tolva profunda y extracción mediante presión provista por una cabeza diferencial.
- Tanques de flujo horizontal y de flujo radial con recolección mecánica y extracción mediante presión provista por una cabeza diferencial.

El uso de equipo mecánico de recolección de lodos tiene las siguientes ventajas: permite disponer de menor volumen para lodos en el tanque, requiere menos mano de obra para desenlode, la frecuencia y período del desenlode son ajustables a los requerimientos de las operaciones de tratamiento de lodos, la operación de la barredora de lodos puede regularse y controlarse automáticamente y como el lodo permanece menos tiempo en el tanque, hay menos riesgo de volverlo séptico. Entre las desventajas de la

recolección mecánica se señala el costo del equipo de desenlode y de su mantenimiento.¹²

6.16.1 Tanques secundarios de sedimentación Los criterios para diseño de tanques secundarios de sedimentación se incluyen en la tabla.

Tabla 5

Parámetros de diseño de sedimentaciones secundarios

Tipo de tratamiento	Carga superficial Caudal promedio	m/d caudal pico	Carga de sólidos Caudal promedio	Kg./dm ² Caudal pico	Profundidad m
Sedimentación secundaria	16 – 29 ⁽¹³⁰⁾ < 34	40 – 65 ⁽¹³⁰⁾ < 65	100 – 150 ⁽¹³⁰⁾	245 ⁽¹³⁰⁾	3.7 – 4.6 ⁽¹³⁰⁾⁼
Sedimentación secundaria.	8 – 33 ⁽⁸⁹⁾	24 – 49 ⁽⁸⁹⁾	23 – 164 ⁽⁸⁹⁾	164 – 234 ⁽⁸⁹⁾	3 – 6 ⁽⁸⁹⁾
Sedimentación después de filtro percolador.	16 – 24 ⁽⁸⁸⁾	41 – 49 ⁽⁸⁸⁾	-	-	3 – 3.7 ⁽⁸⁸⁾
Sedimentación después de lodos activados (excluyendo aireación prolongada)	16 – 32 ⁽⁸⁸⁾	41 – 49 ⁽⁸⁸⁾	98-147 ⁽⁸⁸⁾	245 ⁽⁸⁸⁾	3.7 – 4.6 ⁽⁸⁸⁾
Sedimentación después de aireación	8- 16 ⁽⁸⁸⁾	32 ⁽⁸⁸⁾	98-147 ⁽⁸⁸⁾	245 ⁽⁸⁸⁾	3.7-4.6 ⁽⁸⁸⁾

¹² ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales.

prolongada					
------------	--	--	--	--	--

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales.

Los tanques de sedimentación secundaria son generalmente circulares, pero se han construido en forma rectangular, cuadrados, hexagonales y octogonales; sin embargo, esto no parece tener influencia sobre la calidad del efluente. El mecanismo de remoción más usados es el de tipo cadena y paletas metálicas, hoy preferiblemente de plástico, el cual permite una remoción continua de sólidos. Para tanques circulares con tolvas, se recomienda una pendiente en el fondo de 1/12; pero si se usa piso plano para acomodar el mecanismo de remoción de lodos, se aconseja disminuir la carga superficial en aproximadamente 7 m/d⁽¹³⁰⁾.

La profundidad óptima de un tanque de sedimentación secundaria depende de muchas variables; la tendencia actual es la de aumentar la profundidad para mejorar la eficiencia, pero reconociendo que un tanque poco profundo puede operar con igual eficiencia que un tanque profundo si se mantiene un manto de lodo de profundidad mínima. A la vez, se debe tener en cuenta que un manto de lodos grueso mejora la concentración de sólidos del lodo y disminuye los requerimientos de recirculación y tratamiento posterior de ellos.

La estructura de entrada al sedimentador secundario debe diseñarse para velocidades de flujo menores de 0.6 m/s, con el fin de minimizar la rotura del floc biológico. El rendimiento del sedimentador se puede mejorar mediante

pantallas interiores colocadas debajo del vertedero del efluente que permitan desviar el lodo que se levanta a lo largo de la pared del tanque. La carga de rebose sobre el vertedero de salida es generalmente menor de 2.2 L/sm⁽¹³⁰⁾. Sin embargo, muchos autores reconocen que dicha carga puede ser bastante mayor. En tanques circulares, si se considera necesario, se puede colocar un vertedero efluente doble, a una distancia de un 30% del radio del tanque contada desde la pared exterior. En tanques rectangulares los vertederos adicionales se extienden en el último tercio del tanque, espaciados aproximadamente 3 m entre sí.

6.16.2 Secado de lodos. El proceso de secado de lodos se refiere generalmente a los sistemas de desaguado de lodos que buscan reducir el contenido del agua del lodo a menos de un 85%. En la selección del método de secado de un lodo hay que tener en cuenta la naturaleza del lodo, los procesos subsecuentes de tratamiento y el método de disposición final. Los objetivos del secado de lodos son, principalmente los siguientes:

- Reducir los costos de transporte del lodo al sitio de disposición.
- Facilitar el manejo del lodo. Un lodo seco permite su manejo con cargadores, garlanchas, carretillas, etc.
- Aumentar el valor calórico del lodo para facilitar su incineración.
- Minimizar la producción de lixiviados al disponer el lodo en un relleno sanitario.

- En general, reducir la humedad para disminuir el volumen de lodo, facilitar su manejo y hacer más económico su tratamiento posterior y su disposición final.

La facilidad con un lodo seca varía ampliamente, pues la magnitud del secado es función de la forma como se encuentra el agua. El agua se halla en diferentes formas, con propiedades distintas que influyen en el grado de secado que se puede obtener. En general se considera que el agua en los lodos existe en cuatro formas diferentes: agua libre, agua intersticial, agua vecinal y agua de hidratación.

El agua libre es el agua no asociada al lodo ni influida por sus partículas suspendidas. El agua intersticial se encuentra entre las cavidades e intersticios de los flocs y de los organismos; puede convertirse en agua libre si el floc se destruye o si se elimina el confinamiento físico. El agua vecinal es la formada por capas de moléculas fuertemente adheridas a la superficie de las partículas por enlaces de hidrógeno, no tiene libertad de movimiento y permanece adherida a las superficies. El agua de hidratación es la asociada químicamente a las partículas y sólo se puede remover con energía térmica.

En el secado de lodos el agua fácil de remover, es decir, el agua libre, se elimina por drenaje, espesamiento o comprimiendo el floc mediante energía mecánica como la de los filtros al vacío, filtros prensa y centrífugas. Sin embargo, el agua vecinal no puede removerse mecánicamente y constituye

una de las fracciones de mayor importancia en el límite obtenible de secado de lodos.

6.16.3 Lechos de secado de arena. Los lechos de secado de arena constituyen uno de los métodos más antiguos para reducir el contenido de humedad de los lodos en forma natural. Posiblemente es el método más usado en plantas pequeñas, de menos de 100 L/s, para secado de lodos, durante los últimos cien años. En la tabla 26.24 se enumeran algunas de las ventajas y desventajas de los lechos de secado de arena.

El lecho típico de arena para secado de lodos es un lecho rectangular poco profundo, con fondos porosos colocados sobre un sistema de drenaje. El lodo se aplica sobre el lecho en capas de 20 a 30 cm y se deja secar. El desaguado se efectúa mediante drenaje de las capas inferiores y evaporación de la superficie por acción del sol y del viento. Inicialmente el agua percola a través del lodo y de la arena para ser removida por la tubería de drenaje en un periodo corto, de unos pocos días. Una vez formada una capa de lodo sobrenadante, el agua es removida por decantación y por evaporación. La pasta se agrieta a medida que se seca, permitiendo evaporación adicional y el escape de agua lluvia desde la superficie. Los lechos de secado de lodos son muy semejantes a filtros intermitentes de arena y tienen la ventaja de requerir poca atención en su operación. El diseño de lechos de secado de lodos está afectado por diferentes factores: clima, características del lodo, valor del terreno y pretratamiento de los lodos.

En la tabla 26.25 se incluyen valores típicos de diseño de lechos de secado de arena para lodos.¹³

Tabla 6

Ventajas y desventajas de los lechos de secado de arena

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Costo total si hay terreno disponible. ➤ No requiere operación especial. ➤ Consumo de energía bajo. ➤ Poco sensible a cambios en las características del lodo. ➤ Consumo de químicos bajo. ➤ Contenido alto de sólidos en la pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseño empírico que no permite análisis económico certero. ➤ Requiere áreas grandes. ➤ Requiere lodo estable. ➤ Sensible a cambios de clima. ➤ Visible al público. ➤ Requiere gran cantidad de mano de obra para remoción de la pasta.

Tabla 7

Criterios de diseño para lechos de secado de arena ^(47.130)

Características	Criterio
Area requerida per cápita	
- Lodo primario.	0.09 m ² /c
- Lodo primario y filtro percolador.	0.15 m ² /c
- Lodo primario y lodos activados.	0.28 m ² /c
- Lodo precipitado químicamente.	0.18 m ² /c
- Otros lodos.	0.1 – 0.25 m ² /c
Carga de sólidos secos	
- Lodo primario.	134 Kg./m ² año

¹³ Ibid.

- Lodo primario y filtro percolador.	110 Kg./m ² año
- Lodo primario y lodos activados.	73 Kg./m ² año
- Lodo precipitado químicamente.	110 Kg./m ² año
- Altura sobre la arena.	0.5 – 0.9 m
- Diámetro de tubería de drenaje principal.	> 0.10 m
- Pendiente tubería de drenaje principal.	> 1%
- Distancia entre drenajes principales.	2.5 – 6 m
- Distancia entre tuberías laterales de drenaje.	2.5 – 3 m
- Espesor de grava.	20 – 46 cm
- Tamaño de grava.	3 – 25 mm
- Profundidad de arena.	20 – 46 cm
- Coeficiente de uniformidad de la arena.	< 4
- Tamaño efectivo de la arena.	0.3 – 0.75 mm
- Ancho del lecho para limpieza manual	7.5 m
- Longitud del lecho de secado	< 60 m
- Decantadores	Se recomiendan sobre el perímetro
- Placa de salpicamiento.	0.9 x 0.9 x 0.1 m para control de erosión de la arena.
- Rampas de acceso en concreto.	A lo largo del eje central de los lechos para remoción de la pasta con volquetas.
- Cobertura	En plástico reforzado con fibra de vidrio
- Profundidad de aplicación	20 – 40 cm, generalmente debe producir una carga óptima de 10 a 15 kg./m ²
- Operación	Para remoción manual la pasta debe

<ul style="list-style-type: none">- Control-	<p>contener un 30 a 40% de sólidos. Se puede palear con rastrillo tipo pala con varias puntas separadas 2.5 cm entre sí. Para control de moscas se atacan las larvas con bórax y borato de calcio, los cuales no son peligrosos para el hombre ni para animales domésticos, rociando el lodo, especialmente entre las grietas.</p>
---	--

6.16.4. Formulación de hipótesis:

- Será que el diseño del sistema de biodisco alcanzará una mayor eficiencia con respecto a otros tipos de sistemas de tratamiento secundario?
- Será que la implementación de deflectores en el sistema de biodisco disminuirá o aumentará la eficiencia del tratamiento?
- Los problemas de altas cargas orgánicas de las aguas residuales institucionales se resolverán con la implementación del sistema de biodisco?

6.16.5 Cuadro de operacionalización de las variables

HIPOTESIS No. 1.

VARIABLE INDEPENDIENTE	SUB-DIMENSIONES	INDICADORES
1.1. Sistemas de Biodiscos	Sistemas de tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros percoladores • Lechos fluidizados • Biorres • Lagunas de estabilización • Lodos activados • Reactor AUSB
VARIABLE DEPENDIENTE		
1.1. Mayor eficiencia	Remoción % M.O. Remoción % S.S.	remoción DQO Y DBO ₅ remoción S.S.

HIPOTESIS No. 2.

VARIABLE INDEPENDIENTE	SUB-DIMENSIONES	INDICADORES
2.1. Implementación de deflectores en el sistema de biodiscos	Tipos de deflectores	<ul style="list-style-type: none"> • Verticales • horizontales
VARIABLE DEPENDIENTE		
Eficiencia	Grado eficiencia	Mayor o menor porcentaje de eficiencia

HIPOTESIS No. 3.

VARIABLE INDEPENDIENTE	SUB-DIMENSIONES	INDICADORES
3.1. Sistemas de Biodiscos	Sistemas de tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros percoladores • Lechos fluidizados • Biorres • Lagunas de estabilización • Lodos activados • Reactor AUSB
VARIABLE DEPENDIENTE		
3.2. Altas cargas orgánicas de agua residuales institucionales.	Carga orgánica	Cantidad de DBO o DQO. Cantidad de microorganismos. Cantidad de biomasa.

7. CLASE DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo es de tipo explicativa, por la cual la información recopilada es obtenida de investigaciones realizadas en diferentes partes del mundo, de la puesta en marcha de un modelo de discos biológicos rotatorios (D.B.R.) en una planta piloto, también las correspondiente informaciones de ensayos de laboratorios para el sistema mencionado.

8. DISEÑO METODOLOGICO DEL PROYECTO

En esta etapa del proyecto se realizará una descripción paso a paso de todos los procedimientos llevados a cabo para la consecución del diseño del reactor de Discos Biológicos Rotatorios, la metodología empleada consta de dos fases:

- **Primera fase:** En esta fase se recopiló toda la información bibliográfica, que estuvo a nuestro alcance. Basada en los siguientes textos:
 - ROMERO, Rojas. Tratamiento de Aguas Residuales. Edit. Escuela Colombiana de Ingeniería.
 - METCALF & HEDI. Ingeniería de aguas residuales. Vol. 2 Editorial Mc Graw Hill.
 - GERARD, Kiely. Ingeniería Ambiental. Vol. II. Editorial Mc Graw Hill.
 - AURELIO, Hernández Muñoz. Depuración de Aguas Residuales. Tercera edición, 1996. Editorial Colección Señor.
 - WPCF, Rotating Biological Contactors Student Workbook.
 - ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR. ABS, INC. Specifications.
- **Segunda fase:** Esta fase se subdivide en dos etapas, la primera etapa se hizo una selección objetiva, para establecer cuales textos contienen la información necesaria para realizar todos los cálculos concernientes

para la elaboración del diseño del sistema de Biodiscos y sistemas complementarios dejándonos los siguientes textos:

- ROMERO, Rojas. Tratamiento de Aguas Residuales. Edit. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- METCALF & HEDI. Ingeniería de aguas residuales. Vol. 2 Editorial Mc Graw Hill.
- ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR. ABS, INC. Specifications.

Una vez establecidos cuales textos no serían útiles en la elaboración del diseño del reactor y sistemas complementarios, daríamos inicio a la segunda etapa, en la cual se realizó todos los cálculos concernientes a diseño de estos sistemas, regido por los criterios de dichos textos, ya una vez establecidas las dimensiones de dichos sistemas, se establecieron las conclusiones y recomendaciones sobre el sistema de biodiscos en el ámbito teórico.

9. CALCULO DE BIODISCOS, SEDIMENTADOR Y LECHO DE SECADO

Según el texto, tratamiento de Aguas Residuales Romero Rojas, Escuela Colombiana de Ingeniería, se tomaron las siguientes ecuaciones como base para el diseño del reactor de biodiscos.

Datos

Carga Orgánica superficial: 6.5 gr. DBO/m².d

Sumergencia del 40%

Tomamos un caudal 0.1 H/seg. = 8.65 m³/día

Carga orgánica = DBO x Q

Carga orgánica:

$$342 \frac{gr}{m^3} \times 8.64 m^3 / día$$

$$= 2954.88 gr DBO / día$$

$$\text{Area disco: } \frac{C \text{ arg a orgánico}}{C \text{ arg a org. Superficial}}$$

$$\frac{2954.88 gr DBO / día}{6.5 gr DBO / m^2 . día}$$

$$= 454.59 m^2 \approx 454.80 m^2$$

$$\text{No de discos: } = \frac{454.60}{\frac{3.1416 \times (2)^2 \times 2}{4}}$$

$$= 72.3 \text{ dis cos} = 72 \text{ dis cos}$$

Según tabla 4, características típicas de biodiscos se recomienda que se tomen entre 4 y 5 etapas adoptaremos 4 etapas de 18 discos cada uno.

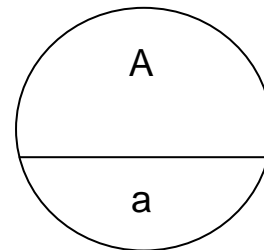
Para un área sumergida del 40% de acuerdo con la tabla No. 4 característica típica de biodisco.

$$\frac{a}{A} = 0.4$$

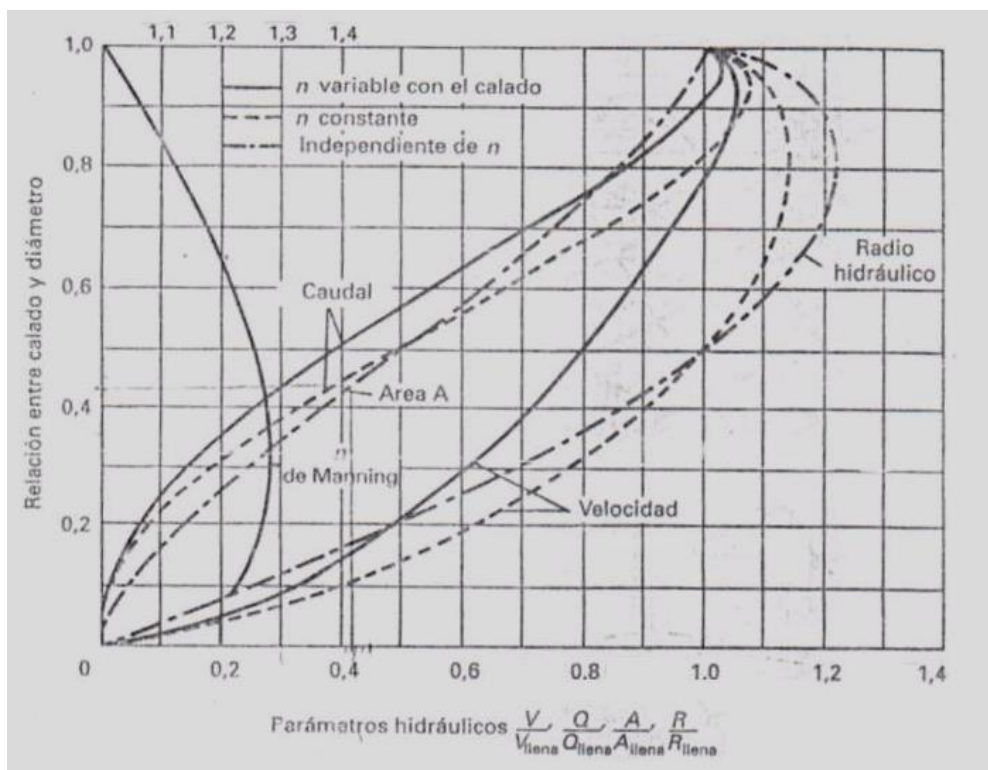
A = Area disco

a = Area sumergida

$$a = 0.4A = 0.4 \frac{\pi(2)^2}{4} = 1.2566m^2$$



$\frac{D}{d} = 0.42$, de acuerdo a la figura 2.16 de Ingeniería de aguas R, tomo de redes de alcantarillado y bombeo.



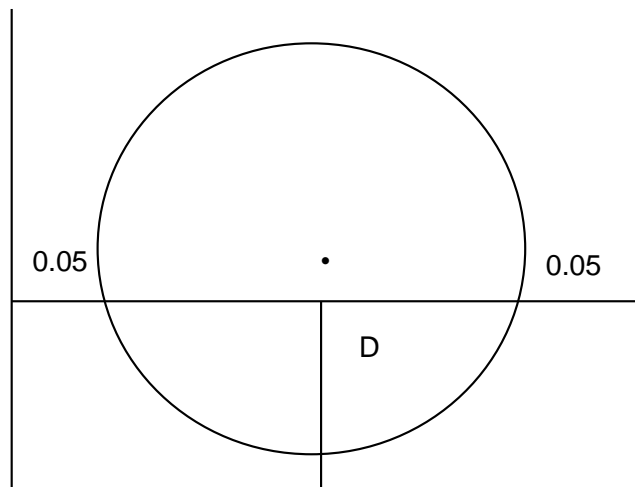
Por lo tanto la profundidad de sumergencia sería

$$D = 0.42 \times 2 \text{ m}$$

$$D = 0.84 \text{ m}$$

D = Altura sumergida.

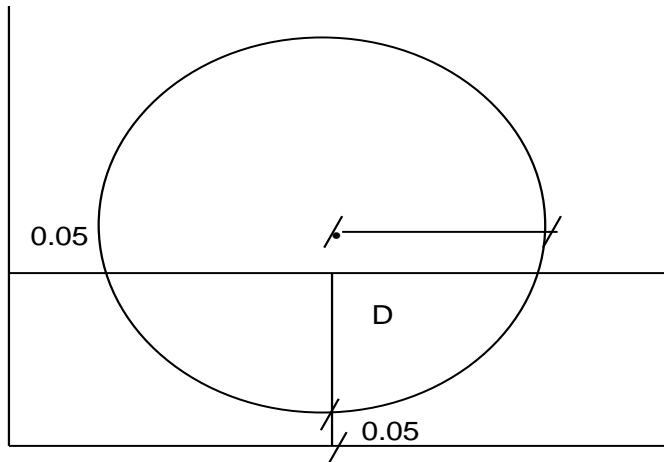
d = Diámetro del disco



La profundidad del agua en el reactor será: 0.84 m + 0.05 m de distancia libre entre los discos y la batea del tanque.

El tanque tendrá un fondo de 0.90 mts que sería apropiado.

Se colocaran pantallas de separación de 0.04 cm de espesor, después de la segunda etapa , con una separación entre discos de 3 cm y entre etapas de 0.96 cm utilizando un espesor de 0.10 cm para cada disco.



La longitud del reactor sería:

$L = \text{No de discos} \times (\text{espesor del disco} + \text{separación entre cada disco}) + 3 \times$
 (Separación entre tapas + espesor de pantalla deflectora).

Utilizaremos como pantalla deflectora una lámina de eternit de dimensiones:

Altura = 1.10 mts

Ancha = 210 mts

Espesor = 0.4 cm

Asumiendo 12 orificios en la pantalla con unas dimensiones para cada orificio de 0.10 mts x 0.10 mts.

Cálculo de la longitud del tanque

No discos = 72

Espesor de los discos = 1 cm

Separación entre cada disco = 3.0 cm

Separación entre cada etapa = 9.6 cm

Espesor de la pantalla defleitora = 0.4 cm

$L_{\text{reactor}} = 72 \times (1.0 + 3.0) + 3 \times (9.6 + 0.4)$

$L_{\text{reactor}} = 318 \text{ cm}$

$L_{\text{reactor}} = 3.18 \text{ m}$

El ancho del reactor estaría dado por el diámetro de los discos que es igual a 2 mts, más la distancia de separación entre los discos y la pared del tanque (5 cm para cada lado).

Ancho = 2.10 mts

La profundidad es igual a 0.90 mts. Calculada anteriormente.

Cálculo del volumen del reactor sería:

$\text{Vol reactor} = L \times A \times H$

$\text{Vol reactor} = 3.18 \times 2.10 \times 0.90$

$\text{Vol reactor} = 6.01 \text{ m}^3 \approx 6 \text{ m}^3$

Según texto tratamiento biológico de las aguas residuales.

Alvaro Orozco Jaramillo – Ing. Civil.

Alvaro Salazar Arias – Ing. Sanitario.

Universidad de Antioquía – Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Sanitaria.

La eficiencia de remoción puede exceder el 90% y el tiempo de detención hidráulico varía de 2 horas hasta valores de 20 horas se han constituido sistemas hasta con ocho tanques consecutivos.

Cálculo del tiempo hidráulico.

$$td = \frac{Vol \text{ Reactor}}{Caudal}$$

$$td = \frac{6.0m^3}{8.64m^3 / día} \times \left(\frac{24 \text{ hrs}}{día} \right)$$

$$td = 16.7 \text{ hrs}$$

Cálculo de la producción de lodo (Px)

Según el texto de Ingeniería de aguas residuales volumen 2, tratamiento, vertido y reutilización.

La producción se calculara de la siguiente manera:

$$Px = SS, \quad \text{removido (mg/lit)} \quad \times \text{caudal (m}^3\text{/día)} \text{ y } (1 /1000 \times \text{lit/m}^3 \cdot \text{Kg./mg})$$

Asumiendo una mayor producción de lado con una eficiencia de remoción del 95%.

$$SS = 410 \text{ mg/ lit}$$

$$\% \text{ remoción} = 95\%$$

Sobre la base de un tiempo medio de retención de un día,

Asumiendo una remoción del 95% de las SS del afluente; tenemos que la producción de lado es igual:

$$SS \text{ removido} = 410 \text{ ms/lit} \times 0.95 = 389.5$$

$$SS \text{ removido} = 410 - 39.5 = 20.5 \text{ ms / lit}; \quad SS \text{ del efluente}$$

$$Px = (20.5 \text{ mg/lit}) \times (8.64 \text{ m}^3/\text{día}) \times (1/1000 \text{ Lt/m}^3 \times \text{Kg./mg})$$

$$Px = 0.18 \text{ Kg.}$$

LA POTENCIA DEL MOTOR esta dada por el criterio de 1 HP (caballo de fuerza) por cada 11700 p² de medio crecimiento o área del disco, según ROTATING BIOLOGICAL CONTANTOR (RBC) Y METCALF Y EDDY.

Nosotros tenemos un área de disco convertida a pie de 4893.27 Pie²

$$454.10 \text{ m}^2 \times \left(\frac{1 \text{ Pie}}{0.3018 \text{ m}} \right)^2 = 4893.27 \text{ Pie}^2$$

$$1 \text{ Hp} \longrightarrow 11700 \text{ pie}^2$$

$$x \longleftarrow 4893.27 \text{ pie}^2$$

$$X = \frac{1 \text{ HP} \times 4893.27 \text{ pie}^2}{11700 \text{ pie}^2}$$

$$X = 0.418 \text{ HP}$$

En nuestro reactor, es indispensable un motor de ½ HP para imprimirle movimiento rotatorio al eje y a su vez a los discos, el cual graduaremos para que tenga una velocidad constante entre 1 –2 RPM, según tabla de características típicas de los biodiscos.

Calculo del Sedimentador secundario después del Reactor de Biodiscos:

El sedimentador tiene como objeto eliminar la mayor cantidad posible de las materias en suspensión contenidas en el licor mezclado que sale del reactor de biodiscos, el sedimentador se proyecta circular, teniendo en cuenta que evita los cortos circuitos y los siguientes criterios:

Según tabla 10-12 Ingeniería de Aguas Residuales Vol. 2 tratamiento vertido y reutilización, los parámetros de la carga hidráulica superficial varía entre 0.678 hasta 1.356 m³/m²-hrs.

Carga Hidráulica Superficial = $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{día}$

Tiempo de retención = 2 Hrs

Profundidad en la Zona Recta = 3 mts

Pendiente de la Solera = 1 %

Caudal = $0.0001 \text{ m}^3/\text{seg}$

Calculamos el área:

$$A = \frac{Q}{C.H.S.}$$

Q = Caudal

C.H.S. = Carga Hidráulica Superficial

$$A = \frac{0.0001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \left(86400 \times \frac{\text{seg}}{\text{día}} \right)}{20 \text{m}^3 / \text{m}^2 - \text{día}}$$

$$A = 0.432 \text{m}^2$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (0.432 \text{m}^2)}{3.1416}}$$

$$D = 0.74 \text{ m}$$

La alimentación al sedimentador es periférica y la recolección es central, la recolección se hará por medio de vertederos triangulares localizados a lo largo de un canal central.

Calculo del canal recolector.

En este canal se ubicaran vertederos triangulares para una recolección uniforme del agua clarificada.

La longitud del canal es:

$$L = \frac{Q}{C.S.V.}$$

Q = Caudal (m³/día)

C.S.V. = Carga sobre el vertedero (m³/m-d)

Según Ingeniería de Aguas Residuales volumen 2. Tratamiento, vertido y reutilización, la ubicación y carga sobre el vertedero varía entre 125 – 250 m³/m²-d.

$$L = \frac{8.64m^3 / día}{125m^3 / m - d}$$

$$L = 0.070 \text{ m}$$

$$L = \pi D$$

$$D = \frac{L}{\pi}$$

$$D = \frac{0.070}{3.1416}$$

$$D = 0.023m$$

$$r = D / 2$$

$$r = 0.011m$$

Los vertederos se ubicaran en el canal, se proyectaran triangulares por lo tanto se tiene:

$$Q = 1.9 H^{5/2} \text{ Ecuación para vertedero triangulares de } 90^\circ$$

$$Q = \text{Caudal, m}^3/\text{s}$$

$$H = \text{carga sobre el vertedero}$$

Asumiendo una carga de 0.05 m

$$Q = 1.4 \times (0.05)^{5/2}$$

$$Q = 0.000560 \text{ m}^3/\text{s por vertedero}$$

El número de vertederos se determino de la siguiente manera:

$$\# \text{ vertederos} = \frac{Q}{Q \text{ vertedero}}$$

$$\# \text{ vertedero} = \frac{0.0001m^3 / s}{0.000560m^3 / s}$$

$$\# \text{ vertedero} = 0.18 \approx 1 \text{ vertedero}$$

Asumimos un ancho de 40 cm.

Se determina la profundidad de la canaleta con la siguiente expresión:

$$H_o = \left(\frac{Q}{1.375 \times b} \right)^{2/3} \text{ descargo libre.}$$

Q = Caudal m³/s

b = ancho del canal

La profundidad crítica se calcula así:

$$Y_c = \left(\frac{a^2}{gb^2} \right)^{1/3}$$

$$Y_c = \left(\frac{(0.0001)^2}{9.81 \times (0.04)^2} \right)^{1/3}$$

$$Y_c = 0.009 \text{ m}$$

La profundidad al inicio del canal es:

$$H_o = \left(\frac{0.0001}{1.375 \times 0.04} \right)^{2/3}$$

$$H_o = 0.015 \text{ m}$$

El diámetro de la tubería del sedimentador secundario se determinó de la siguiente manera:

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

Donde:

Q = Caudal, m³/s

C = coeficiente

A = área de la tubería

H = carga sobre la tubería.

$$A = \frac{Q}{C \times \sqrt{2gH}}$$

$$A = \frac{0.0001}{0.61 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.25}}$$

$$A = 0.00074 m^2$$

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.00074 \times 4}{3.1416}}$$

$$D = 0.0097 \approx 0.01 m$$

$$D = 0.34 in$$

Por seguridad se adopta un diámetro de ½ in.

Cálculo del lecho de secado.

Los lodos producidos en el sedimentador son conducidos por gravedad hasta los lechos de secado en los cuales se deshidratan los lodos; según METCALF. EDDY los lodos producidos en los biodiscos tienen las siguientes características:

Características de los lodos (REF: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales METCALF – EDDY.).

Ítems	Valor
Peso específico de los sólidos del lodo.	1.45
Peso específico del lodo	1.025
Sólidos secos kg. / 10^5 m^3	70
Concentración de sólidos del lodo, % de sólido seco.	1.5

Los lodos se sacaran del sedimentador secundario a una tasa entre $3 - 4 \text{ m}^3$
/ 1000 m^3 de agua tratada.

Volumen de agua tratada por día = 8.64 m^3

$$\nabla_{\text{lodo}} = \frac{3.0 \text{ m}^3}{1000 \text{ m}^3} \times 8.64 \text{ m}^3 = 0.025 \text{ m}^3 \text{ por día}$$

Adoptando una profundidad de lodo de 0.02 m se tiene lo siguiente:

$$\nabla = A \times h$$

$$\nabla = \text{Volumen}, \text{ m}^3$$

$$A = \text{Area}, \text{ m}^2$$

$$h = \text{Altura}, \text{ m}$$

$$A = \frac{\nabla}{h}$$

$$A = \frac{0.025 \text{ m}^3}{0.02 \text{ m}}$$

$$A = 1.25 \text{ m}^2$$

Adoptando que el largo sea dos veces el ancho.

$$L = 2b$$

$$A = 2b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$b = \sqrt{\frac{1.25}{2}}$$

$$b = 0.79 \text{ m}$$

entonces:

$$L = 2b$$

$$L = 2 \times 0.79$$

$$L = 1.58 \text{ m}$$

Por lo tanto se adoptan las siguientes medidas:

$$h = 0.02 \text{ m}$$

$$b = 0.80 \text{ m}$$

$$L = 1.60 \text{ m}$$

LODOS

Los lodos producidos en el sedimentador secundario se conducirán a los lechos de secado donde serán deshidratados, los lodos se sacaran del fondo del sedimentador.

DIAMETRO DE LA TUBERIA

$$Q = 0.0176 \text{ CD}^{2.63} \text{ S}^{0.54} \text{ expresión del HAZEN – WILLIAMS}$$

Donde:

Q = Caudal, L/s

C = Coeficiente depende del tipo de tubería.

D = Diámetro, Pulg.

S = Perdidas m/m.

$h_f = S \times L$

donde:

S = Perdidas m/m

L = Longitud de tubería.

h_f = Perdida por metros.

La purga de lodos se hará por un período de 1 minuto por día, el caudal de purga es:

$$V = 0.025 \text{ m}^3$$

Período de purga por día = 1 min = 60 seg.

$$Q = \frac{25\text{lt}}{60\text{seg}}$$

$$Q = 0.42\text{lt} / \text{seg}$$

Adoptando una velocidad de 1.5 m/s se tiene la siguiente:

$$Q = A \times V$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0.00042 \text{ m}^3 / \text{s}}{1.5 \text{ m} / \text{s}}$$

$$A = 0.00028 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \Rightarrow D = \frac{4 \times 0.00028}{3.1416}$$

$$D = 0.02 \text{ m} = 0.79 \text{ in} \approx 1.0 \text{ in}$$

D = 0.02 m = 0.79 in debido a que el flujo que se va a transportar el lodo se debe tener como mínimo un diámetro de 1 pulgada.

En la tabla se presente la perdida por accesorios.

Tabla

Pérdida por accesorios

Accesorios	Cantidad	K	Hf (m)	Hf (total)
Válvula compuerta $\phi = 1''$ abierta	8	0.2	0.0055	0.044
CODD 90 x 1"	2	0.9	0.0248	0.050
Tee 1 x 1" paso directo	6	0.6	0.0165	0.099
CODO 45 x 1"	5	0.4	0.0110	0.055
Perdida total				0.25

Perdida por longitud de tubería.

Las perdidas por longitud de tubería se calculan por medio de la siguiente expresión:

$$Q = 0.01786 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54}$$

En la tabla se presentan los valores del coeficiente C de acuerdo al porcentaje de lodos.

Tabla

Coeficiente de Hazen Williams para diferentes concentraciones de sólidos en el lodo.

Porcentaje de lodos	Coeficiente C
0	100
1	90
2	81
4	61
6	45
8.5	32
10	25

Adoptando el valor de 1% de sólidos total se obtiene que el coeficiente es de 90.

$$Q = 0.01786 \times 90 \times (1)^{2.63} \times S^{0.54}$$

$$S = \left[\frac{0.42 \text{ lt / seg}}{0.01786 \times 90 \times (1)^{2.63}} \right]^{1/0.54}$$

$$S = 0.083 \text{ m/m}$$

$$hf = L \times S$$

$$hf = 3 \text{ m} \times 0.083 \text{ m/m}$$

$$hf = 0.25$$

La longitud de la tubería es aproximadamente 3 mts.

La sumatoria de las perdidas es de $0.25 \text{ m} + 0.25 \text{ m} = 0.50$.

Según el texto diseño de procesos de depuración, Guillermo Rodríguez Parra
pH.D Profesor titular Univalle 1995.

La C.H.S. varia entre (100 – 150)

Altura dinámica y el nivel de lodos se calcularán y se tomaran en cuenta con
la construcción del tratamiento completo para el agua residual institucional
(reactor RBC, sedimentador secundario y lecho de secado).

**Calculo de la bomba para llevar el efluente del reactor al sedimentador
secundario.**

Sistema de bombeo

Del reactor será bombeada al sedimentador secundario el agua residual ya depurada, la bomba que será diseñada tendrá la capacidad de bombear un caudal de 0.1 Lt/s.

El cálculo de este sistema de bombeo se llevará a cabo en el momento de realizarse la construcción del reactor y del sedimentador secundario, debido a que las pérdidas mayores están determinadas por los estudios reales.

10. RECURSOS DISPONIBLES

Entre los recursos disponibles tenemos:

LOGISTICOS

- Internet.
- Consultas técnicas y metodológicas con profesores.
- Consultas bibliográficas referentes a sistemas de discos biológicos rotatorios.
- Visitas a las plantas existentes de discos biológicos rotatorios biológicos en Barranquilla.

ASESORES

- Metodológico: Ing. Juan Pablo Rodríguez.
- Técnico: Ing. Diana Mosquera.

Ing. Jaime Maestre.

11. CONCLUSIONES

Con base en los resultados y análisis de resultados que se obtuvieron en este proyecto, se puede concluir lo siguiente:

- Que las aguas residuales con una menor o mayor elevada concentración de DBO_5 y DQO son susceptible al tratamiento mediante el sistema de discos biológicos rotatorios.
- En términos generales, el diseño del sistema de biodiscos a escala de laboratorio, permite servir como base para el diseño y operación de una planta depuradora, con este mismo sistema.
- El bajo costo de mantenimiento y fácil operación del sistema de biodiscos (se auto regula solo), ofrece una nueva alternativa para el tratamiento de aguas residuales institucionales, domésticas e industriales.
- La máxima remoción de materia orgánica en términos de DQO y DBO_5 soluble se obtendrá con la mayor carga orgánica aplicada, de igual manera se podrá establecer que el mayor porcentaje de remoción de materia orgánica se tendrá en la primera etapa y luego en las siguientes etapas cumplieron las funciones de mejoramiento en el tratamiento del agua residual.

- Debido a que la producción de lodos es muy pequeña la realización de un lecho de secado no se hace de carácter obligatorio, dado que esta planta piloto se ha realizado con el fin de determinar la eficiencia de remoción que se presenta al momento de tratar un agua residual institucional y no la de realizar un estudio de los lodos que se generan por el mismo tratamiento.
- En esta planta no hay la necesidad de aplicar o inyectar oxígeno por medio mecánico debido a que el reactor esta diseñado con el fin de suministrar suficiente oxígeno al lecho bacteriano para la degradación de la materia orgánica.

12. RECOMENDACIONES

- Se sugiere la utilización de pantallas deflectoras después de la primera etapa, para alcanzar un mayor porcentaje de remoción.
- La implementación de una carcasa para el cerramiento del reactor, así de esa manera mitigar la emisión de olores al área circundante al reactor, además esta servirá como protector ante las condiciones climáticas o cualquier otra situación física que pueda perturbar al funcionamiento del reactor.
- El afluente del agua residual a tratar debe entrar en sentido igual al movimiento rotatorio de los discos así de esta manera se evitará el desprendimiento de la biomasa por choques entre el flujo y la corriente que se genera por el movimiento de los discos.
- Para evitar condiciones sépticas en el reactor se debe proyectar un sistema de purga.
- Se podrá adecuar el reactor para que las 2 primeras etapas operen en paralelo y con flujo perpendicular al eje; dejando las 2 últimas etapas para pavimento, los cuales ubicaran en serie y con flujo paralelo al eje.

Se aumentará así la remoción de la materia orgánica creándose en las 2 últimas etapas las condiciones necesarias para que suceda el proceso de nitrificación.

- Es necesario aplicar bicarbonato de sodio al tanque de alimentación debido a que el pH del agua residual a tratar se encuentra 13.05 ya que el pH óptimo para un buen funcionamiento del reactor debe mantener en un rango de 7.1 – 8.4.
- El sistema de biodiscos se debe mantener en funcionamiento intermitentemente, la biomasa debe estar alternativamente en contacto con el agua residual y con el aire, para mantener activa su población de microorganismos.
- Para observar como responde el sistema de biodiscos a diferentes condiciones de operación se podrían variar parámetros como: velocidad de rotación de los discos, carga hidráulica y/o tiempo de retención hidráulico.
- Se debe diseñar como alternativa al sistema de biodiscos, un sedimentador secundario y un lecho de secado, con el objeto de eliminar y deshidratar correspondientemente, la materia orgánica es suspensión y los lodos producidos por la remoción de ellos.

- Trabajar a temperatura ambiente.
- El material que se utilice para la construcción del reactor sea en fibra de vidrio y no en material metálico debido a que al ser sometido a temperatura ambiente puede presentarse problemas de corrosión.
- Todas las tuberías que sean utilizadas para la conducción de esta agua residual institucional serán de cloruro de polivinilo (P.V.C.)

13. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL DISEÑO

Meses Actividad	Agosto				septiembre				octubre				Noviembre				Diciembre			
	Semanas				semanas				semanas				Semanas				Semanas			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recopilación bibliográfica para la propuesta	■	■	■	■	■	■														
Internet	■	■	■		■	■														
Biblioteca		■		■	■															
Reuniones asesor metodológico	■	■	■	■	■	■														
Reuniones asesor técnico.	■	■	■	■	■	■														
Correcciones de la propuesta.			■	■	■															
Entrega final de la propuesta.							■													
Recopilación Bibliográfica para Anteproyecto	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
Internet			■	■	■	■		■												
Biblioteca	■	■			■		■		■											
Reuniones con Asesor Metodológico								■	■											
Reuniones con Asesor Técnico							■	■	■											
Visita a la Universidad de Cartagena								■												
Correcciones del Anteproyecto										■	■									
Entrega Final del Anteproyecto													■							
Reuniones con Asesor Técnico para realizar el Diseño													■	■	■					

14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Entrevista en la universidad de Cartagena, (recopilar información sobre biodiscos).
- ECKENFELDER W. Wesley. "Activated sludge process, desing and control" water quality management library, 1992
- GERARD, Kiely. Ingeniería Ambiental. Vol. II. Editorial McGraw Hill. Pág. 737 – 738.
- HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio. Depuración de aguas residuales, 1996. Editorial Paraninfo. S.A. Pág. 590 – 608.
- METCALF & HEDÍ. Ingeniería de aguas residuales. Vol. 2. Editorial McGraw Hill. Pág. 714 – 722.
- MOTORES DE BUSQUEDAS EN INTERNET,
- www.Ciudadfutura.com
- www.Google.com
- MOYA A. L. Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales. Conferencia FOROCOLCA, Cartagena. 2000.
- 8 PULIDO, Ricardo. ESCOCEJA, Carlos. Reactores Biológicos Rotatorios, aeróbicos en el tratamiento de aguas residuales.

- QASIM SYED R. "Wasterwafer treatment plants" Planning, desing and operation technomic Publishing CO. Inv. 1994
- RAMALHO "Introduction to waster water treatment processes" 2da edition 1993
- SALAZAR, Álvaro. Depuración de aguas residuales.
- Universidad Católica "Seminario Internacional de tratamientos económicos de aguas residuales" Cartagena 1992
- WINKLER, Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho, 1995. Editorial Limusa. Pág. 235 – 236.
- WPCF, Rotating Biological Contactors Student Workbook.
- Culp. Wesner, Culp " Process design, performance and economic analysis handbook – Biological wastewater treatment Processes". 1977

GLOSARIO

- SDBO = Demanda bioquímica de oxígeno soluble.
- DBO = Demanda bioquímica de oxígeno.
- DBO₅ = Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día.
- DQO = Demanda química de oxígeno.
- OD = Oxígeno disuelto.
- pH = Parámetro que determina acidez y alcalinidad del agua.
- DBR = Discos biológicos rotatorios.
- SS = Sólidos suspendidos.
- ST = Sólidos totales.
- % Rem = Porcentaje de remoción.
- R.P.M. = Revoluciones por minuto.
- Δ_{ss} = Totalidad de sólidos suspendidos.
- COV = Carbono orgánico Volátil.
- COVT = Carbono orgánico volátil tóxico.
- PVC = Cloruro de polivinilo.