

ESTUDIO PRELIMINAR PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN UN REACTOR DE  
BIODISCOS

The image features the National Coat of Arms of Colombia, which is a shield divided into four quadrants. The top-left quadrant is red and contains a pair of scales of justice. The top-right quadrant is blue and contains a caduceus (a staff with a snake coiled around it). The bottom-left quadrant is black and contains a white pair of trousers. The bottom-right quadrant is red and contains a white harp. The shield is topped by a condor with its wings spread, perched on a banner that reads 'LIBERTAD Y JUSTICIA'. The shield is surrounded by a wreath of green leaves. At the bottom, a ribbon contains the motto 'INTER-AULAS - ACADEMIAE QUÆRE - VERUM'.

PAOLA JIMENA ORDÓÑEZ LOSADA  
ALONSO BETANCUR PEREZ

MANIZALES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DICIEMBRE DE 2003

ESTUDIO PRELIMINAR PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN UN REACTOR DE  
BIODISCOS

PAOLA JIMENA ORDÓÑEZ LOSADA

ALONSO BETANCUR PEREZ

L.P. ING. AMBIENTAL

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Químico

MODALIDAD

PARTICIPACIÓN EN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DENTRO DEL PROGRAMA DE  
INVESTIGACIÓN DEL GRUPO DE INGENIERÍA AMBIENTAL PARA EL TRATAMIENTO  
DE LIXIVIADOS DE RELLENO SANITARIO

Director:

JORGE ELIÉCER MARÍN ARIAS

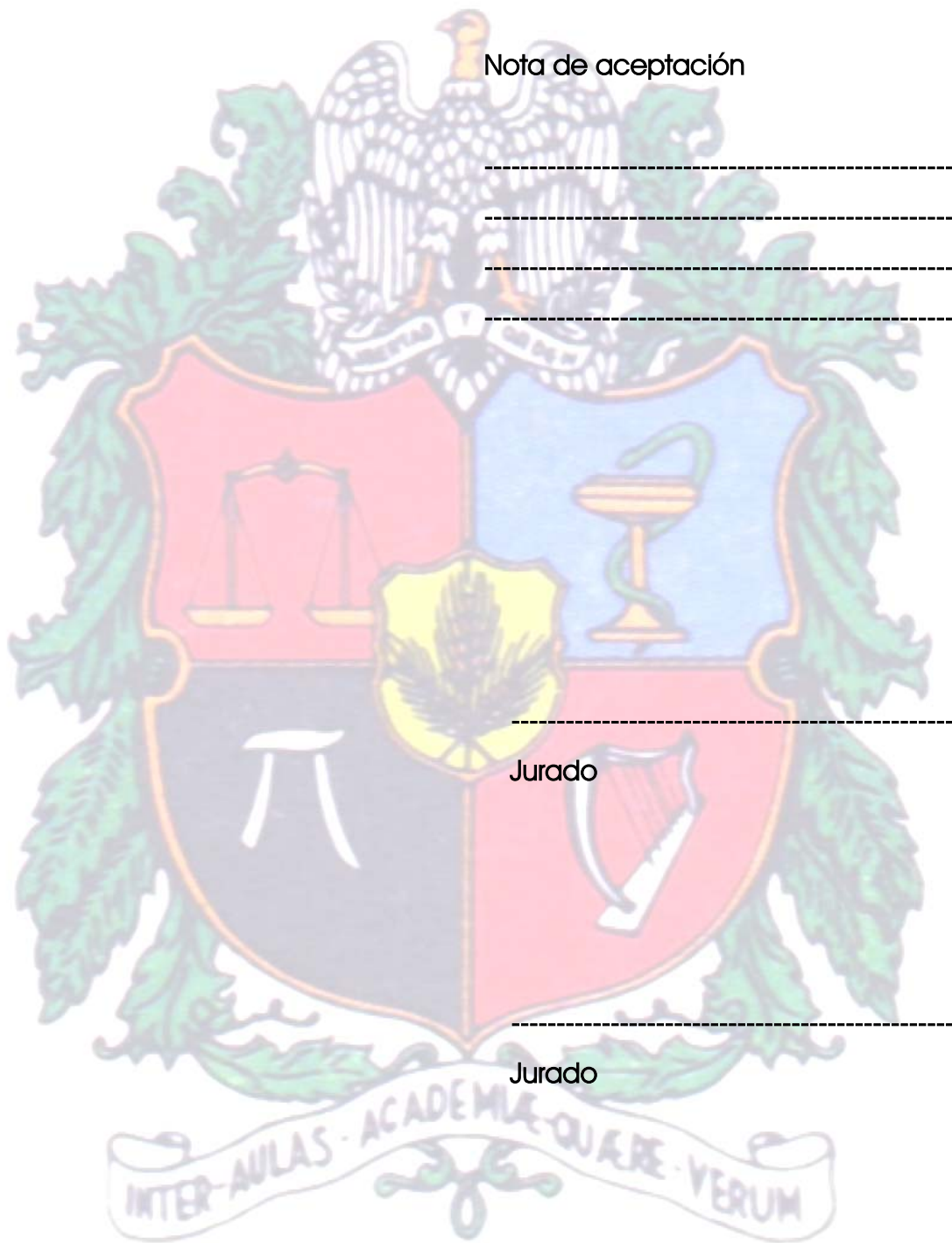
Ingeniero Químico

MANIZALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

DICIEMBRE DE 2003



## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo, expresan sus más sinceros agradecimientos:

A nuestros familiares, quienes han sido un apoyo incondicional y han contribuido enormemente en la realización del presente trabajo de grado.

Al grupo de investigación de ingeniería ambiental, nuestro director Jorge Eliécer Marín y los docentes Adela Londoño Carvajal, Nelson de Jesús González y Gonzalo Morante por sus asesorías, consejos y apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

A los trabajadores de los Laboratorios de Química de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, por su gran ayuda y oportuna colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A la Empresa Metropolitana de Aseo, EMAS S.A. en especial al Ingeniero Gabriel Ocampo y a la Ingeniera María Luisa Arbelaez, por brindarnos los medios necesarios para el elaboración de esta investigación.

A nuestros amigos y compañeros que de una u otra manera nos brindaron su ayuda para la realización del presente trabajo de grado.





*A mis Padres y Hermanos.....  
Gracias por su apoyo incondicional*

*Paola Jimena*

*A mi familia,  
Por hacer posible la realización  
de este sueño.*

*Alonso*



## RESUMEN

El presente trabajo hace parte de un proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y EMAS (Empresa Metropolitana de Aseo S.A. E.S.P) para encontrar la mejor alternativa para el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario "La Esmeralda" de la ciudad de Manizales, con el fin de cumplir la legislación ambiental vigente sobre vertimientos líquidos industriales a las aguas superficiales.

Se analizó en forma preliminar la aplicación de la tecnología biodiscos como una alternativa para el tratamiento del lixiviado crudo.

Para el efecto se utilizó un pequeño reactor experimental, con cincuenta y seis discos de 30cm, y un volumen de 29 litros de agua.

Se encontró una remoción del 40% de  $DBO_5$  y DQO cargas entre 8 y 28 gr  $DBO_5 / m^2$  día, con tiempos de residencia hidráulicos de 7,27 a 12,3 horas. El reactor de biodiscos produjo remoción del orden de 30 % para SST, 15 % para SVT y 15 % para SFT.



## ABSTRACT

This document is part of a research between "Universidad Nacional de Colombia" and "Empresa Metropolitana de Aseo" about leachate treatment from the sanitary landfill "La Esmeralda" where urban solid wastes from Manizales and others towns are disposed.

The biodisc technology has been analyzed like an alternative in order to reduce pollution from leachate. In this fact an experimental reactor has been used which has a water capacity of 29 L, and is formed by 56 discs of 30 cm.

Several parameters were studied, finding 40% average removal of BOD<sub>5</sub> and COD working at a feed range between 8 y 28 g BOD<sub>5</sub>/ m<sup>2</sup>\*day, with residences hydraulic times between 7,27 a 12,3 hours.

The TSS average removal was of 30%, 15% of VSS and 15% of FSS.

Other parameters analyzed were pH, color, turbidity, temperature, VTS, FTS, TTS, COD y NTK.



## TABLA DE CONTENIDO

	Pág
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. <u>ASPECTOS GENERALES DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS</u>	2
2.2. <u>ASPECTOS GENERALES DE SISTEMAS DE BIODISCOS</u>	4
2.2.1. <u>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</u>	5
2.2.2. <u>ANÁLISIS DEL PROCESO</u>	6
2.2.3. <u>FUNDAMENTOS DE LA MODELACIÓN DE PROCESOS BIOLÓGICOS</u>	6
2.2.3.1. <u>OBJETIVOS DEL METABOLISMO MICROBIANO</u>	6
2.2.3.2. <u>MICROORGANISMOS EN BIODISCOS Y BIOCILINDROS</u>	10
2.2.4. <u>APLICACIONES DE LOS CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS (RBC)</u>	11
2.2.5. <u>CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTORES DE BIODISCOS</u>	12
2.2.6. <u>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE REACTORES DE BIODISCOS</u>	13
2.2.7. <u>ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO EN BIODISCOS</u>	14
2.2.7.1. <u>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN</u>	16
2.2.7.2. <u>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DENITRIFICACIÓN</u>	17
2.2.8. <u>DIFICULTADES EN BIODISCOS Y BIOCILINDROS</u>	18
2.2.8.1. <u>PERDIDA DE BIOMASA</u>	18
2.2.8.2. <u>DESARROLLO DE BIOMASA BLANCA</u>	18
2.2.8.3. <u>DISMINUCIÓN DE LA EFICIENCIA DEPURADORA</u>	18
2.3. <u>CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LOS REACTORES DE BIODISCOS</u>	20
2.3.1. <u>MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y FACTORES DE FORMA</u>	20



2.3.2.	<u>COMPARTIMENTALIZACIÓN</u>	<u>21</u>
2.3.3.	<u>CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE Y EFLUENTE</u>	<u>22</u>
2.3.4.	<u>CRITERIOS DE CARGA</u>	<u>23</u>
2.3.5.	<u>REQUERIMIENTOS DE POTENCIA</u>	<u>25</u>
2.3.6.	<u>SEPARACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AFLUENTE Y EFLUENTE</u>	<u>25</u>
2.4.	<u>MODELOS CINÉTICOS DE LOS REACTORES DE BIODISCOS</u>	<u>26</u>
3.	<u>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</u>	<u>31</u>
3.1.	<u>MATERIALES Y METODOS</u>	<u>31</u>
3.1.1.	<u>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</u>	<u>31</u>
3.1.2.	<u>ALIMENTACIÓN</u>	<u>33</u>
3.1.3.	<u>CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS A TRATAR</u>	<u>34</u>
3.2.	<u>MONTAJE Y PRUEBAS DE LABORATORIO</u>	<u>34</u>
3.2.1.	<u>INOCULACIÓN DEL REACTOR DE BIODISCOS</u>	<u>34</u>
3.2.2.	<u>FACTORES QUE CONTROLAN EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA</u>	<u>35</u>
4.	<u>OPERACIÓN DEL REACTOR DE BIODISCOS</u>	<u>36</u>
4.1.	<u>PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR DE BIODISCOS</u>	<u>36</u>
4.2.	<u>PARÁMETROS DE ESTUDIO Y VARIACIÓN DE LA CARGA ALIMENTADA AL REACTOR</u>	<u>37</u>
4.3.	<u>PUNTOS DE MUESTREO Y BIOPELÍCULA ADHERIDA A LOS DISCOS</u>	<u>40</u>
4.4.	<u>COMPORTAMIENTO DEL REACTOR DE BIODISCOS</u>	<u>42</u>
4.4.1.	<u>COMPORTAMIENTO DEL pH EN EL REACTOR DE BIODISCOS</u>	<u>42</u>
4.4.2.	<u>VARIACIÓN DEL COLOR DURANTE EL PROCESO</u>	<u>43</u>
4.4.3.	<u>VARIACIÓN DE LA TURBIEDAD DURANTE EL PROCESO</u>	<u>45</u>
4.4.4.	<u>COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS TOTALES</u>	<u>47</u>
4.4.5.	<u>COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS</u>	<u>52</u>
4.4.6.	<u>COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)</u>	<u>56</u>
4.4.7.	<u>COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>)</u>	<u>62</u>

4.4.8. <u>COMPORTAMIENTO DEL NITRÓGENO</u>	66
5. <u>DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL RECTOR DE BIODISCOS</u>	67
<u>CONCLUSIONES</u>	74
<u>RECOMENDACIONES</u>	76
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	78
<u>ANEXO</u>	79

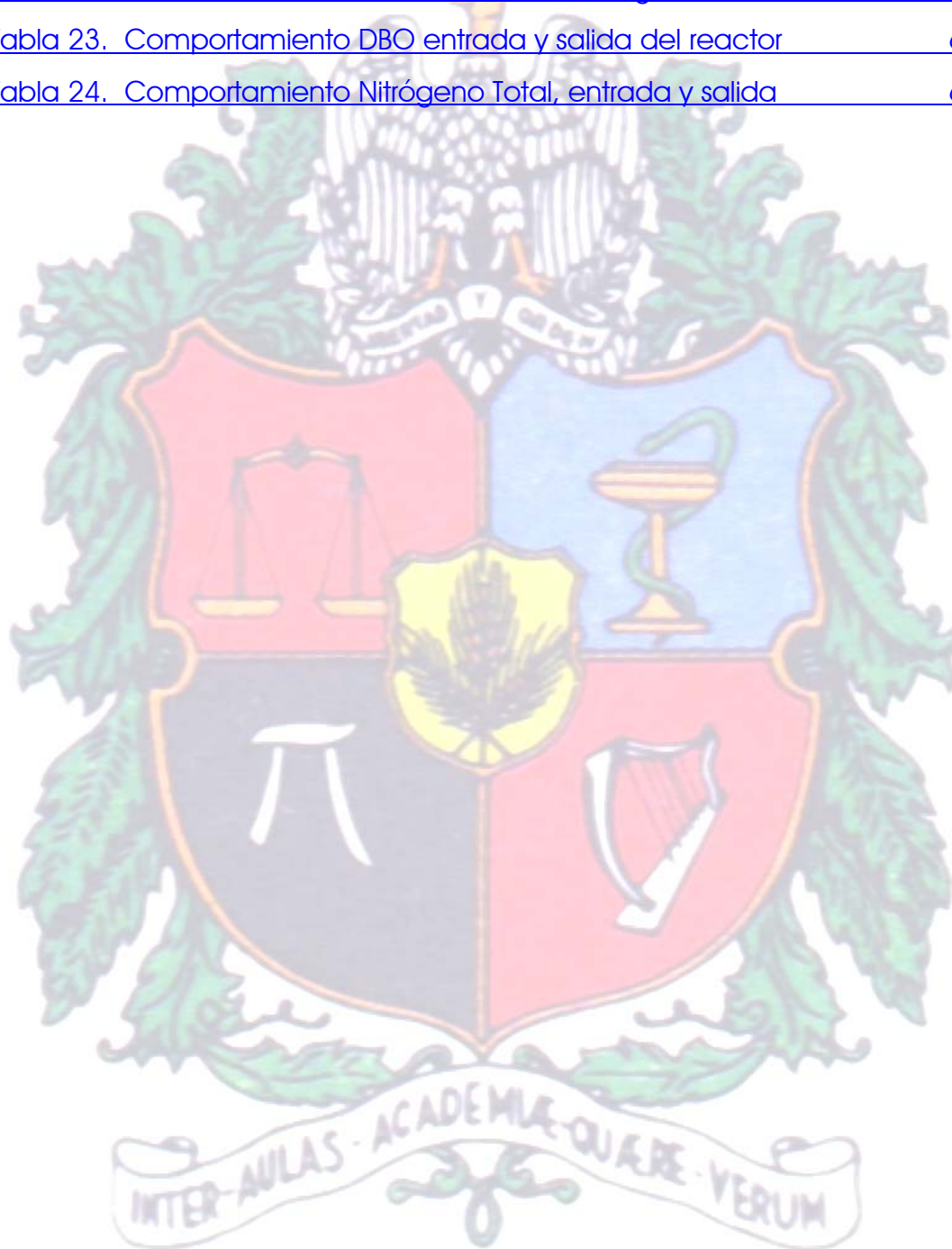


## LISTA DE TABLAS

	Pág
<u>Tabla 1. Valores característicos del efluente de un relleno sanitario</u>	<u>4</u>
<u>Tabla 2. Algunas diferencias entre la glucólisis anaerobia y aerobia</u>	<u>9</u>
<u>Tabla 3. Comparación del sistema de biodiscos con sistemas convencionales aerobios</u>	<u>12</u>
<u>Tabla 4. Concentración de sustancias inhibidoras de la nitrificación</u>	<u>19</u>
<u>Tabla 5. Valores típicos de los procesos aerobios de tratamiento Biológico</u>	<u>23</u>
<u>Tabla 6. Información típica para diseño de RBCs</u>	<u>24</u>
<u>Tabla 7. Parámetros analizados, unidades y métodos</u>	<u>38</u>
<u>Tabla 8. Variación de caudal y carga orgánica durante el proceso</u>	<u>39</u>
<u>Tabla 9. Variación de pH en el reactor de biodiscos</u>	<u>43</u>
<u>Tabla 10. Variación de color en el reactor de biodiscos</u>	<u>44</u>
<u>Tabla 11. Variación de turbiedad en el reactor de biodiscos</u>	<u>46</u>
<u>Tabla 12. Variación de Sólidos Totales Totales en el reactor</u>	<u>48</u>
<u>Tabla 13. Variación de Sólidos Totales Volátiles en el reactor</u>	<u>49</u>
<u>Tabla 14. Variación de Sólidos Totales Fijos en el reactor</u>	<u>50</u>
<u>Tabla 15. Variación de Sólidos Suspendidos Totales en el reactor</u>	<u>52</u>
<u>Tabla 16. Variación de Sólidos Totales Volátiles en el reactor</u>	<u>54</u>
<u>Tabla 17. Variación de Sólidos Totales Fijos en el reactor</u>	<u>55</u>
<u>Tabla 18. Concentración DQO en el reactor de biodiscos</u>	<u>57</u>
<u>Tabla 19. Comparación entre DQO salida filtrada y sin filtrar</u>	<u>58</u>



<a href="#">Tabla 20. Comportamiento DQO salida del reactor y sedimentador</a>	<a href="#">59</a>
<a href="#">Tabla 21. Análisis de DQO en cada compartimiento del reactor</a>	<a href="#">59</a>
<a href="#">Tabla 22. Resultados de DQO en términos de carga de DQO</a>	<a href="#">60</a>
<a href="#">Tabla 23. Comportamiento DBO entrada y salida del reactor</a>	<a href="#">63</a>
<a href="#">Tabla 24. Comportamiento Nitrógeno Total, entrada y salida</a>	<a href="#">66</a>





## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág
<u>Gráfica 1. Variación de pH en el reactor de biodiscos</u>	43
<u>Gráfica 2. Variación de color en el reactor de biodiscos</u>	45
<u>Gráfica 3. Variación de turbiedad en el reactor de biodiscos</u>	46
<u>Gráfica 4. Variación de Sólidos Totales Totales en el reactor</u>	48
<u>Gráfica 5. % Remoción de sólidos Totales Totales en el reactor</u>	49
<u>Gráfica 6. Variación de sólidos Totales Volátiles en el reactor</u>	50
<u>Gráfica 7. % Remoción de Sólidos Totales Volátiles en el reactor</u>	50
<u>Gráfica 8. Variación de Sólidos Totales Fijos en el reactor</u>	51
<u>Gráfica 9. % Remoción de Sólidos Totales Fijos en el reactor</u>	51
<u>Gráfica 10. Variación de Sólidos Suspendidos Totales en el reactor</u>	53
<u>Gráfica 11. % Remoción Sólidos Suspendidos Totales en el reactor</u>	53
<u>Gráfica 12. Variación de Sólidos Suspendidos Volátiles en el reactor</u>	54
<u>Gráfica 13. % Remoción Sólidos Suspendidos Volátiles en el reactor</u>	55
<u>Gráfica 14. Variación de Sólidos Suspendidos Fijos en el reactor</u>	56
<u>Gráfica 15. % Remoción Sólidos Suspendidos Fijos en el reactor</u>	56
<u>Gráfica 16. Comportamiento DQO entrada y Salida del reactor</u>	61
<u>Gráfica 17. Carga DQO removida por carga de DQO alimentada</u>	62

<u>Gráfica 18. % Remoción DQO según carga de <math>\text{DBO}_5</math> alimentada</u>	<u>62</u>
<u>Gráfica 19. Comportamiento <math>\text{DBO}_5</math> entrada y salida del reactor</u>	<u>64</u>
<u>Gráfica 20. Carga orgánica removida</u>	<u>64</u>
<u>Gráfica 21. % Remoción <math>\text{DBO}_5</math> según carga de <math>\text{DBO}_5</math> alimentada</u>	<u>65</u>
<u>Gráfica 22. Promedio g <math>\text{DBO}_5/\text{m}^2\cdot\text{día}</math> a la entrada del reactor</u>	<u>65</u>
<u>Gráfica 23. Promedio g <math>\text{DBO}_5/\text{m}^2\cdot\text{día}</math> a la salida del reactor</u>	<u>65</u>
<u>Gráfica 24. Promedio porcentaje de remoción de g <math>\text{DBO}_5</math> en el reactor</u>	<u>66</u>
<u>Gráfica 25. Promedio de carga removida g <math>\text{DBO}_5/\text{m}^2\cdot\text{día}</math></u>	<u>66</u>





## LISTA DE FIGURAS

	Pág
<a href="#">Figura 1. Foto del relleno sanitario "La esmeralda"</a>	3
<a href="#">Figura 2. Transformación del Nitrógeno en los procesos de tratamiento biológico</a>	15
<a href="#">Figura 3. Tren de biodiscos en flujo perpendicular al eje</a>	22
<a href="#">Figura 4. Reactor de biodiscos utilizado</a>	32
<a href="#">Figura 5. Detalle de tabique, eje, cuñero y disco</a>	32
<a href="#">Figura 6. Puntos de muestreo del reactor de biodiscos</a>	41
<a href="#">Figura 7. Biopelícula en compartimentos 1 y 2 antes del desprendimiento</a>	41
<a href="#">Figura 8. Reactor de biodiscos sin tabiques y luego del desprendimiento de la biopelícula</a>	42
<a href="#">Figura 9. Esquema del diseño preliminar del reactor de biodiscos</a>	68

LISTA DE ANEXOS

Pág

ANEXO. Tablas de datos de las caracterizaciones 79





## INTRODUCCIÓN

El relleno sanitario “La esmeralda” de la ciudad de Manizales, de la empresa EMAS S. A. E.S.P. está ubicado en el Km. 2 en la vía Manizales – Neira. El relleno sanitario es el punto de disposición final de basuras de la ciudad y de varios municipios circundantes.

El relleno sanitario fue creado en el año 1991 ante la necesidad de controlar el impacto ambiental directo de las basuras de la ciudad de Manizales que tenían como disposición final el sector de Olivares, lugar por donde pasa la quebrada del mismo nombre.

Con la creación del relleno sanitario se dejó de contaminar directamente la quebrada Olivares con basuras, pero se generó una nueva fuente de contaminación por los líquidos lixiviados, los cuales son actualmente recuperados en un solo sitio para su evacuación y tratamiento; por esto se necesita encontrar una alternativa para la remoción de contaminación de los lixiviados y así disminuir el impacto ambiental sobre los cuerpos de agua a los que son vertidos; “Quebrada Aguas Frías” afluente a la “Quebrada Olivares”.

En este trabajo se estudió la aplicación de un tratamiento biológico aerobio de película fija utilizando un reactor de biodiscos (*RBCs*, *Rotating Biological Contactors* en inglés) experimental a nivel de banco.



## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS

Todas las actividades del hombre producen contaminación ambiental de diferentes tipos, una de ellas y la que está más a la vista son los residuos sólidos que tienen diferente origen; residencial, comercial, de plazas de mercado, industrial, institucional, el originado en espectáculos públicos como en partidos de fútbol o en el barrido de las calles, por solo citar algunos. Dado que la basura puede ser patógena, tóxica, combustible, inflamable, explosiva, radiactiva o volatilizable se requiere una correcta disposición final de éstas.

En la actualidad, la disposición final que están teniendo estos residuos sólidos son los rellenos sanitarios, que para el caso de Manizales y sus municipios aledaños es el relleno sanitario "La Esmeralda" de la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S.A. E.S.P., ubicado en el kilómetro 2 en la vía que de Manizales comunica con el municipio de Neira al norte de la ciudad. El relleno sanitario "La Esmeralda" se puede apreciar en la figura 1.

Uno de los problemas más grandes que se tiene en un relleno sanitario (vertedero), es la producción de los Lixiviados debido a ciertos factores, uno de los cuales, es la descomposición de la materia biodegradable vía anaerobia, cuyos productos son: agua y gas metano, principalmente producidos por el ataque bacteriano, acompañado de la producción de enzimas, que son las encargadas de romper grandes moléculas en

fracciones mas pequeñas algunas de ellas biodegradables. Con el agua generada durante el proceso más la que llega por infiltración proveniente de la precipitación atmosférica, esta arrastra la materia orgánica soluble, dando lugar a los lixiviados.

*Figura 1. Foto del Relleno Sanitario "La esmeralda"*



El lixiviado de un relleno sanitario es uno de los efluentes más difíciles de tratar, no solo por la variabilidad que enfrenta en la cantidad y concentración, sino por las altas cargas contaminantes asociadas. Estas cargas se pueden subdividir a su vez, en dos componentes genéricos: cargas orgánicas y cargas de interés sanitario. Las primeras representan el aporte derivado de desechos sólidos de tipo orgánico y cuya expresión puede hacerse a través de indicadores, tales como:  $DBO_5$  (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), nitrógeno total KHELDHAL, STT (sólidos totales), SST (sólidos suspendidos totales).

En la tabla 1 se presentan la composición típica de lixiviados de un relleno sanitario reportados en la literatura.

Tabla1. Valores característicos del efluente de un relleno sanitario (LOPEZ 1998)

EDAD DEL RELLENO	NUEVO < 2 años	NUEVO < 2 años	VIEJO > 10 años
PARAMETRO	RANGO	VALOR TÍPICO	RANGO TÍPICO
DQO (mg/L)	3000 - 60000	18000	100 - 500
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2000 - 30000	10000	100 - 200
COT (mg/L)	1500 - 20000	6000	80 - 160
SST (mg/L)	200 - 2000	500	100 - 400
Nitrógeno total (mg/L)	20 - 1500	400	100 - 200
Fósforo total (mg/L)	5 - 100	30	5 - 10
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1000 - 10000	3000	200 - 1,000
Sales solubles(Cl,SO) (mg/L)	200 - 4000	800	100 - 500
Hierro (ppm)	50 - 1200	60	20 - 200
Plomo (ppm)	1 - 10	2	0.01 - 0.5
Zinc (ppm)	25 - 250	50	0.1 - 1.0
pH	5 - 8	6	6.6 - 7.5

## 2.2. ASPETOS GENERALES DE SISTEMAS DE BIODISCOS

Los contactores biológicos rotatorios, comúnmente conocidos como biodiscos RBCs (*rotating biological contactors*, en inglés), se instalaron por primera vez en Alemania en 1960, gozaron de una considerable popularidad en los años setenta y perdieron popularidad en los años ochenta al evidenciar problemas de diseño de la primera época. En la actualidad, los RBCs son procesos de película fija que constituyen una opción para nuevos diseños. (BRUC E, 2001)

Los RBCs son sistemas para el tratamiento de aguas residuales, que constan de una serie de discos, estrechamente separados unos de otros, que giran mediante el accionamiento de un eje rotatorio dispuesto horizontalmente de 2 rpm (revoluciones por minuto). Sin embargo, el criterio más importante



para establecer la velocidad de rotación es la velocidad basculante (rpm)  $\pi D_m v$ , el la que  $D_m$  es el diámetro del disco. Una indicación corriente para la velocidad basculante es 20 m/min para una unidad a gran escala. Aumentando la velocidad basculante se aumenta la tasa de transferencia de oxígeno (la proporcionalidad es aproximadamente lineal), pero el requerimiento de energía también aumenta. El eje horizontal esta ubicado por encima del líquido a tratar, por lo tanto, aproximadamente el 40% de la superficie de los discos siempre se encuentra sumergida en el líquido. Debido a la rotación de los discos, de forma alterna una parte se encuentra en contacto con el líquido que proporciona nutrientes y carbono orgánico para el crecimiento y reproducción celular y con el aire que le proporciona oxígeno a la biopelícula formada en los discos. De esta manera se logra la oxidación biológica aerobia de la materia orgánica; mediante la cual el metabolismo microbiano logra reducir el contenido de materia orgánica y nitrogenada del agua residual. (METCALF & EDDY, 1995).

### 2.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los biodiscos (RBCs) son un tipo de reactores que como los de lecho bacteriano utilizan una biopelícula expuesta a las aguas residuales. La rotación de los discos induce la transferencia de oxígeno manteniendo la biopelícula en condiciones aerobias. La rotación es también un buen mecanismo para la eliminación del exceso de biomasa en la superficie de los discos por medio de los esfuerzos cortantes que se producen y para mantener en suspensión los sólidos desprendidos de modo que puedan ser arrastrados desde el reactor hasta el clarificador.

Los RBCs se utilizan como un tratamiento secundario o avanzado. En los casos en que se precisa un efluente nitrificado, los biodiscos se pueden

utilizar para el tratamiento en conjunto de la demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y del nitrógeno amoniacal, o para nitrificar por separado el efluente del tratamiento secundario. (METCALF & EDDY, 1995).

### **2.2.2. ANÁLISIS DEL PROCESO**

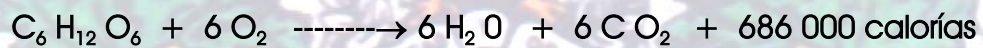
Los biodiscos se pueden modelar a partir de estudios de planta piloto y a partir de datos deducidos de instalaciones existentes a escala industrial.

### **2.2.3. FUNDAMENTOS DE LA MODELACIÓN DE PROCESOS BIOLÓGICOS**

**2.2.3.1. OBJETIVOS DEL METABOLISMO MICROBIANO.** Las bacterias y, en menor grado los hongos, son las responsables de las reacciones de biodegradación. Aunque la mayoría de las reacciones de degradación forman parte del metabolismo normal de estas células, el objetivo del metabolismo de los microorganismos no es la eliminación de los contaminantes ambientales: el objetivo principal del metabolismo microbiano es crecer y mantenerse. Por lo tanto, la formación de los modelos debe comenzar por la biomasa activa y por los factores que permitan este crecimiento y mantenimiento.

Los microorganismos crecen y se alimentan extrayendo nutrientes, electrones, y energía del ambiente. Los nutrientes son compuestos que contienen C, N, P, S, y otros oligo-elementos que forman la base de los constituyentes celulares: carbohidratos, aminoácidos, lípidos y ácidos nucleicos. Los electrones son necesarios para la reducción de los nutrientes a la forma química utilizada por los constituyentes celulares, y para generar la energía necesaria que posibilite la síntesis y el mantenimiento de la biomasa. (Levin & Gealt. 1996).

La energía química o potencial de las sustancias alimenticias se encuentran en las diversas uniones covalentes entre los átomos de una molécula. Ello explica que durante la hidrólisis de una unión química se produzca la liberación de energía. En el caso de la glucosa, existe entre los átomos de C, H, O una energía potencial de 686 000 calorías por mol (es decir, por 180 g de glucosa), que puede ser liberada por combustión como se indica en la siguiente reacción.



Dentro de las células vivientes esta enorme cantidad de energía no se libera súbitamente, sino de modo gradual y controlado mediante la intervención de enzimas que convierten el combustible en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

A diferencia de lo que sucede en el motor de un automóvil, dentro de la célula no se producen cambios repentinos de temperatura. Solo se disipa en forma de calor una parte de la energía liberada de las sustancias alimenticias; el resto se recupera en forma de una nueva energía química. La energía liberada en las reacciones exergónicas por la oxidación de las sustancias se emplea en diferentes funciones celulares tales como:

- La síntesis de nuevas moléculas (proteínas, hidratos del carbón, lípidos) por medio de las reacciones endergónicas; estas moléculas pueden reemplazar a otras o ser utilizadas en el crecimiento natural de las células.
- Para realizar trabajos mecánicos como en la división celular, ciclosis y corrientes citoplasmáticas o en la contracción de músculos.



- Para producir transporte activo en contra de un gradiente osmótico o iónico.
- Para mantener los potenciales de membrana como en la conducción y transmisión de impulsos, o para producir descargas eléctricas (por ejemplo, peces eléctricos).
- En la secreción celular.
- Para producir energía radiante como en la bioluminiscencia.

La energía que las células tienen a su disposición se encuentra como energía química en uniones de alta energía.

La célula sólo utiliza parte de la energía total (H) o entalpía contenida en un compuesto químico, ésta es la denominada energía libre (G), que no se disipa como calor, expresada como cambio de energía.

$$\Delta H = \Delta G + T * \Delta S$$

La ecuación revela que a temperatura constante el cambio en la energía total ( $\Delta H$ ) es igual al cambio en la energía disponible o libre ( $\Delta G$ ) más la energía no disponible ( $T * \Delta S$ ), que se disipa como calor. En la ecuación, T es la temperatura en grados Kelvin y S la denominada entropía del sistema.

Para los procesos biológicos la entropía (S) del sistema es baja, ya que los átomos de una molécula se disponen ordenadamente cuando éste se encuentra en estado estable.

En los procesos biológicos aerobios hay una transformación de energía química en otras formas de energía.

Entre todas estas transformaciones existe un eslabón común, la molécula de adenosintrifosfato o ATP. Esta molécula se encuentra en todas las células y tiene como característica principal dos uniones con un potencial energético mucho más alto que todas las uniones químicas.

En la respiración celular, las sustancias orgánicas son degradadas y parte de la energía así obtenida se acumula en uniones de alta energía del ATP. La glucosa es el combustible utilizado con mayor frecuencia por la célula, y la forma de su metabolismo depende de la presencia o ausencia de oxígeno. La glucólisis anaerobia (fermentación) no requiere oxígeno, pero solo recupera una pequeña fracción de la energía química de la glucosa. En presencia de oxígeno, por el contrario, la respiración aerobia oxida la glucosa a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , y se genera una mayor cantidad de ATP. En la Tabla 2 se resumen algunas de las principales diferencias entre la respiración aerobia y la glucólisis anaerobia.

*Tabla 2. Algunas diferencias entre la glucólisis anaerobia y aerobia (DE ROBERTIS 1981)*

<i>GLUCÓLISIS ANAEROBIA</i>	<i>RESPIRACIÓN AEROBIA</i>
No se emplea oxígeno	Emplea oxígeno molecular
Degrada la glucosa en ácido láctico y otros compuestos orgánicos complejos	Degrada la glucosa en $\text{CO}_2$ y $\text{H}_2\text{O}$
Exergónica	Exergónica
Recupera poca energía	Recupera el 40% de la energía química
Enzimas localizadas en la matriz citoplasmática	Enzimas localizadas en las mitocondrias
Una molécula de glucosa produce 2 moléculas de ATP	Una molécula de glucosa produce 36 moléculas de ATP

El balance energético de la respiración aerobia muestra la producción de 36 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa consumida, la reacción puede escribirse;



Donde:

Pi = Fósforo inorgánico

ADP = Adenosíndifosfato

ATP = Adenosítrifosfato

La célula es capaz de almacenar como ATP el 40% de la energía química liberada por la combustión de la glucosa. (DE ROBERTIS, 1981).

**2.2.3.2. MICROORGANISMOS EN BIODISCOS Y BIOCILINDROS.** La población de microorganismos depende de la carga de contaminantes, de la clase y categoría de los mismos. En los biodiscos esta población también depende de la etapa que se esté considerando, ya que ésta es la que establece una selección biológica por niveles.

Las especies bacterianas que se encuentran fijas 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 carbonácea es mucho menor. De los microorganismos más sobresalientes en un sistema de biodiscos se pueden mencionar:



**Bacterias y hongos:** Según el reporte de Antoine y Welch (1969), se mencionan 16 tipos de organismos como: *Geotrichum candidum*, *Bacillus cereus*, *Zoogloea filipendula*, *Pseudomonas denitrificans*, *Aerobacter aerogenes* y *Escherichia coli*. Para Chittenden y Wells (1971), son: *Sphaerotilus*, *Beggiatoa* y *Zoogloea*, además de las especies anteriormente mencionadas, Torpey observó *Zoogloea ramigera* y *oscillatiria* en la primera etapa.

En aguas industriales que son tratadas usando un RBC, Kitchens (1980), aisló *Pseudomonas fluorescens* y *Geotrichum*. Otros estudios realizados por Chester y Eskelund (1980), reportaron que la biopelícula estaba compuesta por el hongo *Fusarium* y *Geotrichum*, algunas *Pseudomonas* y dos especies de *Bacillus*, Bracewell (1980), reporta que la *Beggiatoa* predomina en los RBCs que son sobrecargados con fenoles y formaldehídos.

**Protozoarios, Metazoarios y Algas:** London-Arnold y Chan (1982), encontraron Nematodos, Sarcodinos y Ciliados para tratamiento con altas cargas orgánicas. Los Ciliados incluyen: *Zoothamnium*, *Vorticella* y *Paramecium*. (BISHOP, 1986).

#### 2.2.4. APLICACIONES DE LOS CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS (RBC)

Los RBCs se han aplicado exitosamente para tratar desde 5 000 hasta millones de galones por día de aguas residuales domésticas e industriales, se usan también como sistemas de pulimento en plantas existentes para mejorar la eficiencia de remoción y cumplir con la legislación ambiental.

Las aplicaciones industriales incluyen, entre muchas otras, el tratamiento de efluentes de planta de procesamiento de alimentos. Los RBCs son efectivos

para la remoción de solventes, sustancias orgánicas halogenadas, acetonas, alcoholes, fenoles, ftalatos, cianuros y productos de desecho de la industria papelera.

En general los sistemas biológicos pueden degradar en un tiempo prudencial solo la parte soluble de la contaminación orgánica (MEJIA, 1999).

La empresa Homestake Chemical Company, en Dakota del sur (EEUU), ha desarrollado un sistema de biotratamiento que utiliza biodiscos (RBCs). La empresa eligió un tratamiento biológico para el tratamiento de los residuos cianogénicos después de evaluar cuidadosamente los tratamientos químicos y físicos, que se rechazaron por su rendimiento, costes de inversión, y altas concentraciones de cianuro en el efluente (hasta 20 mg/l). (LEVIN & GEALT, 1996).

### 2.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTORES DE BIODISCOS

Algunas de las características de los RBCs sobre los procesos convencionales de lodos activados se encuentran en la Tabla 3.

*TABLA 3. Comparación del sistema de biodiscos con sistemas convencionales aerobios (LEVIN & GEALT, 1996)*

	<b>LODOS ACTIVADOS</b>	<b>LECHOS BACTERIANOS</b>	<b>BIODISCOS</b>
Forma de establecer el contacto.	Agitación	Pecolación a través del lecho	Remojo
Aireación	Insuflación de aire o aireación mecánica	Efecto de chimenea o ventilación artificial	Rotación y exposición de los discos al aire
Biomasa	Flocs en suspensión	Biopelícula	Biopelícula fija a los discos, además de flocs en suspensión
Necesidades energéticas	Agitación y aireación	Bombeo y aireación, en caso de aireación forzada	Rotación de los discos

## 2.2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE REACTORES DE BIODISCOS

Los RBCs tienen más ventajas que desventajas comparado con los procesos biológicos convencionales, ya que si un efluente puede ser tratado biológicamente, los RBCs son mucho más eficientes que los sistemas que no tienen película inmovilizada.

Algunas de las ventajas que presentan los Biodiscos son;

- Bajos consumos de energía y mantenimiento más sencillo.
- Usando una configuración de sistemas anaerobios-aerobio, la producción de lodos es reducida comparado con un sistema convencional.
- Ya que es posible tener en cada etapa un cultivo biológico diferente, se cuenta con un grado adicional de flexibilidad en el proceso. Puede conseguirse bastante nitrificación desarrollando cultivos de bacterias nitrificantes selectivas en las últimas etapas.
- Los tiempos de residencia son bajos, por lo tanto la concentración de biomasa en suspensión es pequeña.
- La biomasa presenta en general buenas características de sedimentación con lo que se disminuye el costo de la clarificación.
- No se necesita recirculación de biomasa.

Algunas de las desventajas que pueden presentarse en los biodiscos son;

- Para los tratamientos biológicos de los lixiviados uno de los grandes problemas, es que los sistemas clásicos de depuración de aguas residuales no consiguen degradar muchos de los productos químicos que se han inventado en los últimos años por ejemplo



empaques o envolturas utilizados para que un producto sea mas atractivo al consumidor, (LEVIN & GEALT, 1996).

- La principal desventaja de los procesos aerobios frente a los procesos anaerobios, es la gran cantidad de materia celular que se produce.
- Los RBC no son efectivos cuando las aguas residuales contienen altas concentraciones de metales y ciertos pesticidas, herbicidas y compuestos orgánicos fuertemente clorados, debido a la inhibición de la actividad microbiana.
- En algunos casos, como en el tratamiento de poluentes orgánicos volátiles, puede ser necesario el control de los gases desprendidos, lográndose esto con la adicción de una cubierta protectora que evite la dispersión de los gases y, además, que prevenga el deterioro de los discos por la acción de la luz ultravioleta y evite el crecimiento de algas.

### **2.2.7. ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO EN BIODISCOS**

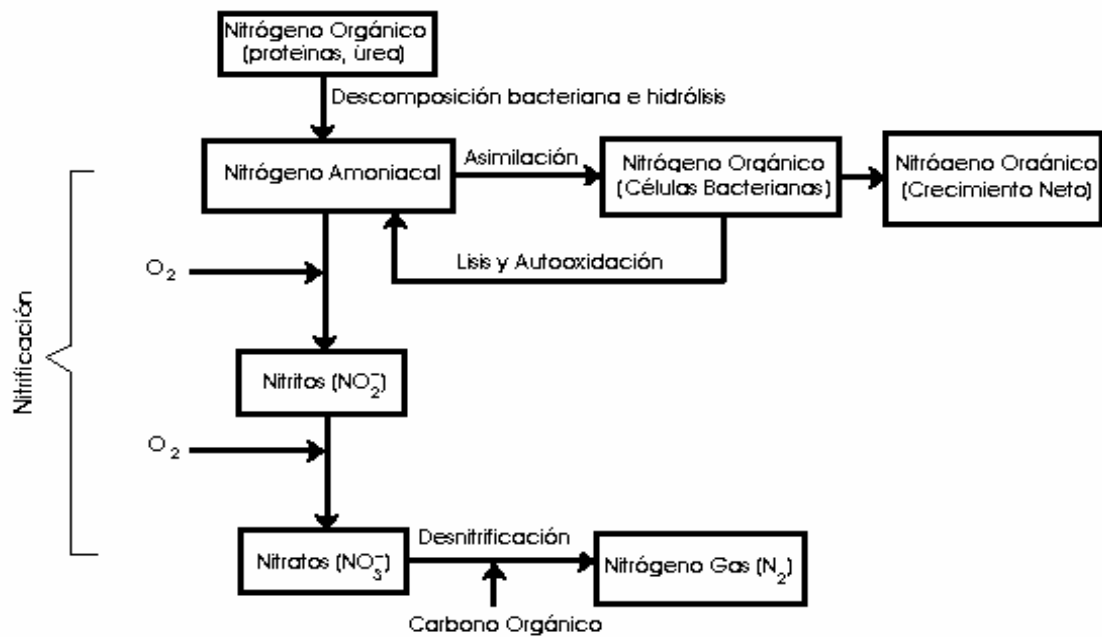
En el agua residual, el nitrógeno puede estar presente en diferentes formas y son numerosas las transformaciones que puede sufrir en los diferentes procesos de tratamiento como se muestra en la Figura 2 (METCAF & EDDY, 1995). Los dos mecanismos principales que intervienen en este proceso son la asimilación y la nitrificación-desnitrificación. Debido a que el nitrógeno es un nutriente, los microorganismos presentes en el proceso de tratamiento tendrán que asimilar el nitrógeno amoniacal y luego incorporarlo a la masa celular. Una parte de este nitrógeno amoniacal retornará al agua residual con la lisis y la muerte de la célula. En el proceso de nitrificación –

desnitrificación, la eliminación del nitrógeno se consigue en dos etapas de conversión.

En la primera, la nitrificación, reduce la demanda de oxígeno del amoníaco mediante su conversión a nitrato. No obstante, en este paso, el nitrógeno apenas ha cambiado su forma y no se ha eliminado.

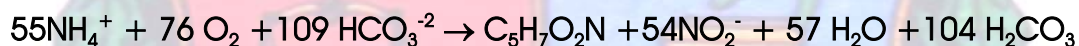
En el segundo caso, la desnitrificación, el nitrato se convierte en un producto gaseoso que es eliminado. Lo anterior se puede observar claramente en el ciclo del nitrógeno.

Figura 2. Transformaciones del Nitrógeno en los procesos de tratamiento biológico

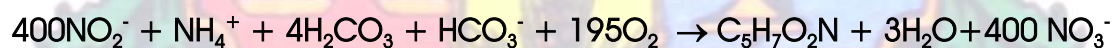


**2.2.7.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN.** Son dos los géneros de bacterias responsables de la nitrificación: Nitrosomas y Nitrobacter. Las Nitrosomas oxidan el amoníaco en nitritos, producto intermedio, mientras que los Nitrobacter transforman los nitritos en nitratos. La no acumulación de nitritos en el sistema evidencia que la conversión de amoníaco a nitratos tiene lugar por medio de unas series de reacciones que gobiernan el proceso de conversión global. De forma aproximada, las reacciones que tiene lugar se pueden expresar de la siguiente forma: ((METCALF & EDDY, 1991).

Para los Nitrosomas, la ecuación es;



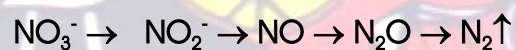
Para las Nitrobacter, la ecuación es;



Las bacterias nitrificantes son organismos extremadamente sensibles a gran cantidad de sustancias inhibitoras, agentes tanto orgánicos como inorgánicos que pueden impedir su crecimiento y la actividad de estos organismos. Las altas concentraciones de amoníaco y de ácido nítrico pueden resultar inhibitoras, siendo también importante el efecto del pH. El intervalo óptimo de valores de pH es estrecho, entre 7.5 y 8.6; la temperatura también ejerce gran influencia sobre el crecimiento de las bacterias nitrificantes. Para que se produzca nitrificación, es fundamental que exista una concentración de oxígeno disuelto mínimo de 1mg/L. Si el valor de OD es menor a este valor, el oxígeno se convierte en el nutriente limitante del proceso, y puede producirse el cese de la nitrificación.



**2.2.7.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESNITRIFICACIÓN.** La eliminación de nitrógeno en forma de nitrato por conversión en nitrógeno gaseoso se puede conseguir biológicamente bajo condiciones ANÓXICAS (sin oxígeno). El proceso se conoce con el nombre de desnitrificación anaerobia. Sin embargo, las principales vías bioquímicas no son anaerobias sino modificaciones de las vías aerobias; es por esta razón que se ha creído conveniente el término anóxico en lugar de anaerobio. La conversión del nitrógeno, en forma de nitrato, a formas más rápidamente eliminables se puede llevar a cabo gracias a la acción de los diversos géneros de bacterias. De entre todas ellas se pueden destacar: *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* y *Spirillum*. Estas bacterias son heterótrofas capaces de la reducción disimilatoria de nitratos, que es un proceso de dos etapas. El primer paso consiste en la conversión de nitrato a nitrito, y a continuación se produce ácido nítrico, óxido nitroso y nitrógeno gaseoso. Las reacciones de reducción del nitrógeno son las siguientes;



Los tres últimos compuestos son gaseosos y son liberados a la atmósfera. En los sistemas de desnitrificación el parámetro crítico es la concentración de OD, pues suprime el sistema enzimático para el desarrollo del proceso de desnitrificación. El pH óptimo se sitúa entre 7 y 8, con diferentes valores óptimos que dependen de las diferentes poblaciones bacterianas posibles. La temperatura afecta la tasa de eliminación de nitrato y la del crecimiento microbiológico. Los microorganismos son muy sensibles a cambios de temperatura.

## 2.2.8. DIFICULTADES EN BIODISCOS Y BIOCILINDROS

Las dificultades en los procesos con estos sistemas puede provenir al igual que en otros procesos biológicos por diferentes causas (HERNANDEZ, 1996).

**2.2.8.1. PERDIDA DE BIOMASA.** Debido a que el agua residual a depurar contiene sustancias tóxicas o inhibitorias que actúan sobre la biomasa.

**2.2.8.2. DESARROLLO DE BIOMASA BLANCA.** En los biodiscos también se pueden desarrollar organismos de color blanco. Esto normalmente no afecta de un modo inmediato la depuración. Los organismos blancos son probablemente *Trotrix* o *Beggiatoa*, 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 puede ser debido a la septicidad de las aguas residuales efluentes o a la existencia de altas concentraciones de ácido sulfhídrico.

Estos microorganismos blancos, extraen energía a partir de la oxidación del ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) a sulfatos (DE ROBERTIS, 1981).

**2.2.8.3. DISMINUCIÓN DE LA EFICIENCIA DEPURADORA.** La disminución del rendimiento puede deberse a causas como:

- Reducción de la temperatura de las aguas residuales. La temperatura de las aguas residuales por debajo de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tendrá como consecuencia la reducción de la actividad biológica y por lo tanto se reduce su poder de biodegradación, debe tenerse en cuenta 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. El agua residual tiene normalmente un pH entre 6,5 y 8.5. Si este se altera por algún tiempo, afectará el correcto funcionamiento del sistema. Cuando se requiere lograr una buena nitrificación, el pH y la alcalinidad son parámetros muy críticos, debiéndose tener el pH próximo a 8.4. El nivel de alcalinidad para la nitrificación en el efluente debe mantenerse mínimo en 7.1 veces la concentración de amoníaco, para permitir que la reacción se complete sin afectar negativamente a los microorganismos (MEJIA, 1999).
- Acumulación de sólidos en los discos. Si es inadecuada la eliminación de sólidos, se puede bloquear el paso de aire generando condiciones anaerobias.

Las sustancias que pueden inhibir la reducción de la DBO<sub>5</sub> al igual que la concentración de sustancias que inhiben la nitrificación son: Amoníaco, Arsénico, Boro, cadmio, Cromo (III o VI ), Cobre, Cianuro, Hierro, Plomo, Magnesio, Mercurio, Níquel, Plata, Cinc, Fenoles.

*Tabla 4. Concentración de sustancias inhibidoras de la nitrificación (HERNÁNDEZ, 1996)*

<i>Sustancia</i>	<i>mg/L</i>
Cromo (hexa)	0,2
Cobre	0,05
Cianuros	0.3
Plomo	0.5
Magnesio	50
Níquel	0.25
Sulfatos	500
Zinc	0.1
Fenol	5.0
2-Dinitro Fenol	150



## 2.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LOS REACTORES DE BIODISCOS

En el diseño de los contactores biológicos rotatorios se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones (MARIN, 1995):

- Materiales de construcción y factores de forma.
- Compartimentalización.
- Características del afluente y del efluente.
- Criterios de carga.
- Requerimientos de potencia.
- Separación de sólidos suspendidos en afluente y efluente.

### 2.3.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y FACTORES DE FORMA

Como en todos los sistemas para el tratamiento de aguas residuales, los RBCs están sometidos a ambientes corrosivos. En grandes instalaciones se usa concreto reforzado resistente a la corrosión o cubiertos con materiales resistentes como plástico o fibra de vidrio. Cuando se usan materiales de plástico los sistemas están bajo techo, protegidos de la luz ultravioleta. La cubierta actúa también como medio para controlar el crecimiento de algas. En instalaciones pequeñas se usa generalmente el acero inoxidable, y a nivel de laboratorio se prefiere el acero inoxidable por su resistencia y duración.

Los discos son generalmente plásticos, siendo el material más empleado el polietileno de alta densidad. También se ha usado el poliestireno, el polipropileno y el PVC. En instalaciones a nivel del banco y de laboratorio se ha utilizado también el acero inoxidable, el cual presenta una superficie

de fácil adherencia para los microorganismos; especialmente si son anaerobios. Una relación típica área/volumen es de  $100 \text{ m}^2 : 1 \text{ m}^3$ .

Es obvio que la corrugación de las superficies aumenta el área disponible para el crecimiento de microorganismos y mejora la adherencia y estabilidad estructural del sistema.

Los mayores problemas operacionales encontrados se refieren a las fallas del eje, de los cojinetes, el rompimiento de los discos y de la estructura del soporte.

El incremento de la sumergencia de los discos en el agua residual reduce la carga sobre el eje y los cojinetes, pero esta se limita del 40 al 43% para que los ejes estén por encima del agua residual.

La longitud de los ejes se limita debido a problemas estructurales y de estabilidad a 8,23 m. de los cuales 7,62 están ocupados por los discos.

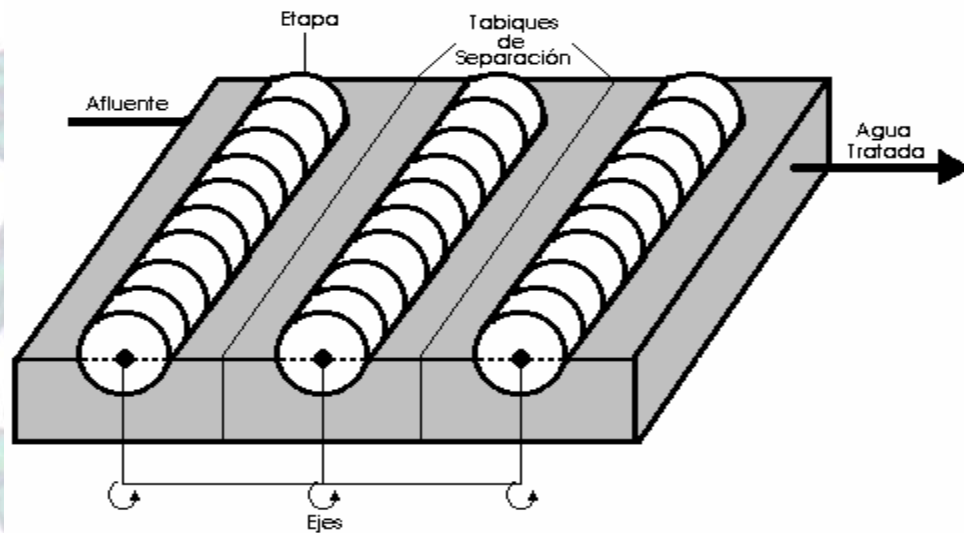
La profundidad máxima a escala real es de 1,8 m. con una sumergencia del 40%.

### **2.3.2. COMPARTIMENTALIZACIÓN**

En plantas de tratamiento pequeñas, el eje es paralelo a la dirección de flujo y el tanque puede o no llevar deflectores. En grandes instalaciones el eje se dispone perpendicular a la dirección del flujo y forma un tren de biodiscos como se aprecia en la Figura 3. La compartimentalización provee al sistema de diversidad y flexibilidad; ya que en cada compartimiento el agua residual va a tener unas características particulares, la población y el tipo de microorganismos llegan a ser

diferentes en cada etapa, pudiéndose encontrar en las últimas etapas nitrificación creciente. Andreadakis (1987) demostró que los reactores de arreglo longitudinal con tres o cuatro compartimentos o etapas en serie, dan mejor eficiencia de remoción que trenes paralelos bajo condiciones de carga similar.

Figura 3. Tren de biodiscos en flujo perpendicular al eje.



### 2.3.3. CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE Y EFLUENTE

Los sistemas de biodiscos se pueden diseñar para llevar a cabo los tratamientos secundarios o avanzados. Las características del efluente en lo que se refiere a la DBO, son comparables a las de los procesos de fangos activados bien operados, como se puede apreciar en la Tabla 5, que muestra las diferencias de los procesos biológicos existentes.

En los casos en los que se precisa producir un efluente nitrificado, los biodiscos se puede utilizar para el tratamiento en conjunto de la DBO y del amoníaco o para nitrificar por separado el efluente del tratamiento



secundario. Los RBCs han demostrado alta eficiencia en procesos de nitrificación. Así puede ser utilizado como tratamiento terciario, simplemente añadiendo a las plantas de tratamiento ya existentes. Los reactores de película adherida se han usado para el tratamiento tanto de aguas residuales domésticas como industriales. La aplicación más común es el tratamiento secundario.

*Tabla 5. Valores típicos de los procesos aerobios de tratamiento biológico (adaptado de Metcalf y Eddy, Inc, 1991)*

<i>Proceso aerobio</i>	<i>Eliminación típica de DBO (%)</i>	<i>Tasa de eliminación de DBO (mg/L*día)</i>	<i>Tiempo de retención del líquido</i>
<i>Proceso de lodos activados</i>			
<i>Convencional (flujo pistón)</i>	85-95	240 - 640	4-8 h
<i>Mezcla completa (CSTR)</i>	85-95	640 - 1760	3-5 h
<i>Estanque /Lagunas</i>			
<i>Aerobia- anaerobia</i>	80-95	14.4 – 60	5 – 30 días
<i>Aerobia (tasa baja)</i>	80-95	17.6 - 40	10 – 40 días
<i>Lechos bacterianos</i>			
<i>Medio poroso (tasa baja)</i>	80 – 90	64 – 400	
<i>Medio plástico (tasa alta)</i>	65 - 90	320 – 1280	
<i>Bioldiscos</i>	60 - 95	32 - 56	0,7 – 1,5 h

#### 2.3.4. CRITERIOS DE CARGA

Los tanques o reactores se construyen con una capacidad media de 0,0049 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día de discos. El tiempo de retención hidráulica más usual es de 1.44 horas para aguas residuales domésticas, para una carga hidráulica de 0.08 a 0.16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día (MARIN 1995).

La carga orgánica máxima que se le puede aplicar a los RBCs esta limitada por la capacidad de oxigenación del sistema, que usualmente sólo cubre la demanda de oxígeno de la biomasa adherida, mientras que la biomasa suspendida puede estar limitada por el oxígeno e inclusive en condiciones anaerobias especialmente en las primeras etapas. Para evitar esta limitación algunos RBCs reciben aireación adicional.

La tabla 6 muestra algunos parámetros útiles para el diseño de un RBCs.

Tabla 6. Información típica para diseño de RBCs (METCALF & EDDY, 1991)

Elemento	NIVEL DE TRATAMIENTO		
	Secundario	Nitrificación combinada	Nitrificación por etapas
Carga hidráulica ( $m^3/m^2 \cdot día$ )	0,08 - 0,16	0,03 - 0,08	0,04 - 0,1
Carga Orgánica ( $gr\ DBOS/m^2 \cdot día$ )	3,70 - 9,8	2,45 - 7,35	0,49 - 1,47
( $g\ DBOT/m^2 \cdot día$ )	9,80 - 17,15	7,35 - 14,70	0,98 - 2,94
Carga orgánica sobre la primera etapa ( $gr\ DBOS/m^2 \cdot día$ )	19,6 - 29,4	19,6 - 29,4	
( $gr\ DBOT/m^2 \cdot día$ )	39,2 - 58,4	39,2 - 58,4	
Carga de $NH_3$ ( $gr/m^2 \cdot día$ )		0,74 - 1,47	0,98 - 1,96
Tiempo de retención (h)	0,7 - 1,5	1,5 - 4	1,2 - 2,9
$DBO_5$ del efluente (mg/l)	15 - 30	7 - 15	7 - 15
$NH_3$ en el efluente (mg/l)		'2	'2

Los sistemas sobrecargados presentan una baja eficiencia de remoción, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, crecimiento de organismos filamentosos como beeggiatoa, que es reductora de sulfatos y por lo tanto malos olores debido a la generación de  $H_2S$ . En algunos casos el impacto de la sobrecarga orgánica puede superarse quitando la pared separadora

entre la primera y segunda etapa, suplementando aire, utilizando alimentación escalonada y finalmente recirculando el efluente de la última etapa para diluir el afluente.

### **2.3.5. REQUERIMIENTOS DE POTENCIA**

El accionamiento de los RBCs se hace mediante motores acoplados al eje. En pequeñas plantas, para menos de 100 personas, en términos de población equivalente, Wanner (1990), encontró un consumo de 60 w/Kg DBO<sub>5</sub> en el efluente, lo que da un consumo total de 1,5 Kwh/Kg DBO<sub>5</sub> removida (MARIN, 1995).

### **2.3.6. SEPARACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AFLUENTE Y EFLUENTE**

El tratamiento primario, rejillas, clarificador, separador de grasas y otras sustancias flotantes, es imprescindible para un correcto funcionamiento. De esta forma se evitan los materiales que podrían sedimentar en los tanques o que podrían obstruir el espacio entre los discos.

También es necesaria la construcción de sedimentadores secundarios, para la separación de la biomasa suspendida. En los RBCs convencionales, para la remoción de materia orgánica carbonácea hay una producción importante de lodo, si se tiene en cuenta que el proceso es aerobio. El efecto de la fuerza de cizallamiento que se genera por la rotación de los discos, combinado con el peso y el envejecimiento de la biomasa, hace que continuamente se desprenda biomasa de los discos. Afortunadamente se ha comprobado que los lodos de los RBCs tienen buenas características de sedimentabilidad.



## 2.4. MODELOS CINÉTICOS DE LOS REACTORES DE BIODISCOS

SHIEH encontró que la concentración de sustrato afecta directamente el orden global de la reacción biológica. Demostró que es posible obtener órdenes de reacción de  $\frac{1}{2}$  en la primera etapa y a medida que la concentración disminuye en orden puede cambiar a la unidad. La no consideración de los efectos de transferencia puede conducir a conclusiones erróneas. Debe quedar claro, que la escogencia del modelo cinético para una aplicación específica sólo es posible mediante la experimentación.

El diseño de un reactor debe estar basado en datos cinéticos y si éstos no están disponibles no es posible realizar el dimensionamiento correcto del sistema. Se han desarrollado modelos matemáticos para explicar la remoción del sustrato los cuales son poco prácticos debido al gran número de parámetros y coeficientes que deben especificarse. Como alternativa se han usado con frecuencia modelos semiempíricos más simples, útiles para el diseño de instalaciones reales a partir de los datos de planta piloto. El primer modelo está basado en la ecuación de Monod.

$$\mu = \frac{\mu_m * S}{K_s + S}$$

EL SEGUNDO MODELO que se considerará representa el caso límite del modelo de saturación para el cual la constante  $K_s$  es mucho mayor que la concentración de sustrato. Bajo estas condiciones, la expresión de Monod queda de primer orden. Se ha observado que la remoción de sustrato soluble frecuentemente sigue una cinética de primer orden en los casos en que la  $DBO_5$  sea soluble o la velocidad de rotación sea baja. Ambos

modelos semiempíricos están basados en un balance de masa de sustrato soluble en todo el reactor como sigue:

$$V * \left( \frac{dS}{dt} \right)_{\text{neta}} = Q(S_0 - S) - \left( \frac{dS}{dt} \right)_n * V_a \quad (1)$$

Donde;

V: Volumen del líquido en el reactor (m<sup>3</sup>)

(ds/dt)<sub>neto</sub>: Velocidad neta de cambio de la concentración de sustrato soluble en el reactor (mg/l).

Q : Caudal (m<sup>3</sup>/d)

S<sub>0</sub> : Concentración de sustrato soluble en la entrada ( mg/l)

S : Concentración de sustrato soluble a la salida (mg/l)

(ds/dt)<sub>u</sub>: Velocidad de utilización de sustrato soluble por unidad de biomasa adherida (mg/l)

V<sub>A</sub>: Volumen de biomasa adherida (m<sup>3</sup>). Es el producto del área activa total por el espesor de la biopelícula adherido d. (  $\pi(r_i^2 - r_o^2)*d$ ).

Estos modelos que se describen están sujetos a las siguientes suposiciones:

- La remoción de sustrato es exclusiva de la biomasa adherida.
- El oxígeno no es un factor muy limitante.
- Hay mezcla completa en cada etapa.
- La operación es en estado estable.
- La masa adherida de microorganismos es proporcional al área activa de los discos.

MODELO DE VELOCIDAD DE SATURACIÓN: En estado estable, cuando se incluye la ecuación de Monod junto con las expresiones que dan el

rendimiento de utilización de sustrato Y y la tasa específica de crecimiento  $\mu$ .

$$\frac{dX}{dt} = Y \left( \frac{dS}{dt} \right) * \mu \quad (1.a) \quad \mu = \left( \frac{1}{dX} \right) * \left( \frac{dS}{dt} \right) \quad (1.b)$$

La ecuación (1) puede describirse;

$$Q(S_0 - S) = \frac{P * S * A}{K_s + S} \quad (2)$$

$$P = \frac{\mu_m * X * d}{Y} \quad (3)$$

Donde;

A: Área activa para el crecimiento de la biopelícula ( $m^2$ ).

$\mu_m$ : Velocidad específica de crecimiento de la biopelícula ( $d^{-1}$ ).

$K_s$ : Constante de velocidad media de saturación (mg/l)

d: Espesor de la biopelícula (m)

X: Biomasa activa por unidad de volumen de biopelícula ( $g/m^3$ )

Y: Rendimiento de la biomasa (g de biomasa producida/g de sustrato consumido)

P: Máxima velocidad específica de remoción de sustrato soluble, un parámetro que toma en cuenta los efectos de difusión interna y velocidad de crecimiento ( $g/m^2*d$ )

$$\frac{1}{W} = \left( \frac{K_s}{P} \right) * \left( \frac{1}{S} \right) + \left( \frac{1}{P} \right) \quad (4)$$

$$W = \frac{Q * (S_0 - S)}{A} \quad (5)$$

Cuando se presentan datos de  $1/W$  en función de  $1/S$  para varias cargas orgánicas e hidráulicas debe resultar (si el modelo explica el fenómeno) una línea recta, de la cual se obtiene los parámetros P y  $K_s$ .



Si se considera cada etapa por separado, se puede obtener los valores de los parámetros de cada una de ellas. La expresión para el cálculo del área activa de i-esima etapa se puede obtener de la ecuación (2):

$$A_i = \left(\frac{Q}{P}\right) * \left(\frac{S_{i-1}}{S_i} - 1\right) * (Ks + S) \quad (6)$$

Donde  $A_i$  esta dado por:

$$A_i = 2 * \pi * N_i (R^2 - r^2) \quad (7)$$

Donde;

$N_i$ : Número de discos

$R$ : Radio del disco (m)

$r$ : Radio del eje que sirve de soporte a los discos (m)

MODELO DE PRIMER ORDEN: Si los estudios de tratabilidad confirman que un modelo de primer orden puede explicar la remoción de sustrato, la ecuación (1) quedaría:

$$Q(S_0 - S) = K * S * A \quad (8)$$

Donde ;

$K$ : Coeficiente de velocidad de primer orden ( $m^3 d^{-1}$ ), el cual puede obtenerse experimentalmente mediante la linealización de la ecuación (8) de la siguiente manera;

$$W = K * S \quad (9)$$

Una gráfica de  $W$  en función de  $S$  permite hallar el valor de  $K$ . Nuevamente podría considerarse el conjunto de etapas u obtener un parámetro  $K$  para

cada etapa. El área de cada etapa, de acuerdo con la ecuación (8), estará dada por:

$$A_i = \left( \frac{Q}{K} \right) * \left( \frac{S_{i-1}}{S_i} - 1 \right) \quad (10)$$

MINIMIZACIÓN DEL ÁREA ACTIVA (8): Si los parámetros cinéticos son constantes en todo el reactor el área mínima se obtiene cuando la relación entre las concentraciones de las etapas es la siguiente:

$$\frac{S_{i-1}}{S_i} = \frac{S_i}{S_{i+1}} \quad (11)$$

Esto implica una igual eficiencia de remoción en todas las etapas.

Para el modelo de saturación:

$$S_i = \frac{\sqrt{(S_{i-1} * K * S_i)_i}}{\sqrt{\frac{P_i}{P_{i+1}} \left( \frac{K * S_i}{S_{i+1}} + 1 \right) - 1}} \quad (12)$$

Para el modelo de primer orden:

$$S_i = \sqrt{S_{i-1} * S_{i+1} * \frac{K_{i+1}}{K_i}} \quad (13)$$

### 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 3.1. MATERIALES Y METODOS

A continuación se describe los equipos, materiales y métodos utilizados para el estudio de tratabilidad de los lixiviados provenientes del relleno sanitario "La Esmeralda" de la ciudad de Manizales en el reactor de biodiscos a escala piloto, el cual pertenece al laboratorio de aguas residuales de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

##### 3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Para el presente estudio el equipo utilizado está conformado por un tanque de almacenamiento (que a la vez funcionaba como un sedimentador), una bomba peristáltica, el reactor de biodiscos, un sistema mecánico compuesto por un motor, un reductor, un regulador de velocidad y pequeño sedimentador a la salida del reactor.

El reactor está construido en acero inoxidable calibre 18, con 0.8 m de largo, 0.34 m de ancho en la superficie, 0.13 m de ancho en la base, 0.18 m de profundidad total. Profundidad máxima de la columna de agua 0.16 m.

Tiene además tres tabiques removibles de acero inoxidable, para seccionar el tanque, y así tener dos o tres reactores en serie.

La capacidad bruta (sin discos y tabiques) es de 34.7 litros. La capacidad total (51 discos y 3 tabiques) es de 29.3 litros. Esta capacidad debe



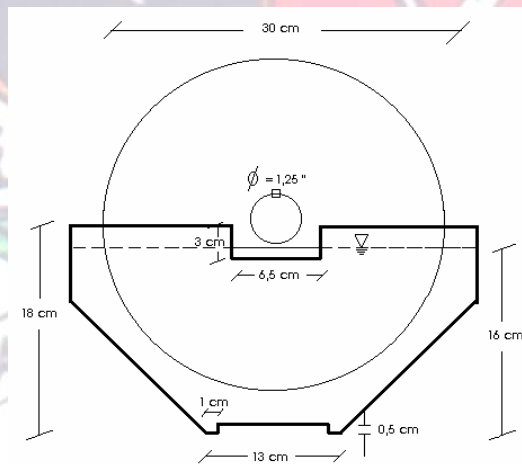
calcularse para cada configuración del tanque. La capacidad neta con sedimentadores en los extremos (5 cm de largo) es de 24.7 litros.

*Figura 4. Reactor de biodiscos utilizado*



Los tabiques disponen de una ranura inferior de 11 cm de largo por 0,5 cm de altura, para igualación hidráulica y paso de lodos, como se puede apreciar en la figura 5.

*Figura 5. Detalle de tabique, eje, cuñero y disco.*



El reactor consta de 51 discos de acrílico (peso promedio 0.250 Kg/ disco) de 3 mm de espesor, 30 cm de diámetro y 40% de sumergencia.

Eje de acero inoxidable de 1,25 pulgadas de diámetro, con cuña longitudinal para los discos. Longitud entre chumaceras 0.95 m. Chumacera de abrir de tipo flotante (carga axial). Motor Siemens de 0.4 HP, trifásico.

Reductor de velocidad Fama, relación 50:1. Transmisión por cadena.

Micro Master: variador electrónico digital Siemens como se puede apreciar en la figura 4. Este convertidor de frecuencia permite: inversión de la dirección de rotación, velocidades de rotación entre 0 y 30 rpm, arranque automático después de un corte de energía.

### 3.1.2. ALIMENTACIÓN

Para el presente trabajo, en una primera etapa del proyecto, se utilizó un tanque de almacenamiento de 50 litros; el cual estaba ubicado muy por encima del nivel de líquido del reactor; esto para utilizar la energía potencial debido a la diferencia de los niveles. Al tanque se le instaló un pequeño flotador que albergaba una manguera de plástico de 4 mm de diámetro la cual se mantuvo por debajo del nivel de líquido de alimentación a una altura constante, garantizándose una cabeza de presión constante. A la manguera se le instaló una válvula de plástico de 3 mm de diámetro.

Para la parte final del trabajo, se utilizó una válvula peristáltica y un tanque de alimentación de 120 L, para así mantener la alimentación constante, ya

que con la válvula de plástico y el tanque elevado, se presentaron algunas dificultades para mantener el caudal constante.

### **3.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS A TRATAR**

Las características de los lixiviados a tratar provenientes del relleno sanitario la Esmeralda se pueden asumir como las de un lixiviado típico tal como se presentó en la tabla 2. Los valores de los parámetros de interés en un lixiviado son muy variables, ya que estos fluctúan con el estado del tiempo (verano e invierno), la temperatura, entre otros.

### **3.2. MONTAJE Y PRUEBAS DE LABORATORIO**

En el presente trabajo se realizaron los análisis propuestos para determinar DQO, DBO<sub>5</sub>, STT, STV, SST, SSV, pH, color, turbiedad, NTK, como parámetros para cada una de los muestreo puntuales que se le hiciera al reactor de biodiscos.

Para la puesta en marcha del proceso, la variable que se manipuló, fue el caudal; ya que fue la variable más fácil de controlar.

#### **3.2.1. INOCULACIÓN DEL REACTOR DE BIODISCOS**

Para inocular, se utilizaron microorganismos que el RBCs poseía en el momento de puesta en marcha; al reactor solo se le cambio la alimentación, también se optó por traer lodos de una planta de lodos activados del SENA. Luego de inocular el RBCs se mantuvo por un espacio de 5 días en operación en discontinuo. Luego de este tiempo, se empezó a alimentar en forma continua. Durante los primeros 15 días de operación se empezó a observar la formación de la biopelícula. De aquí en adelante se conservó el caudal por espacio de 15 días y se hicieron dos muestreo



semanales, haciéndose la medición de los parámetros antes mencionados.

Para esta fase del trabajo el RBCs, trabajó en 3 etapas, utilizándose para esto, los tabiques propios de reactor. Para una segunda fase, se optó por retirar los tabiques.

### 3.2.2. FACTORES QUE CONTROLAN EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

La selección de estos factores depende de su característica: constantes y variables.

#### ➤ PARÁMETROS CONSTANTES

Volumen de agua en el reactor: 0.0293 m<sup>3</sup>

Porcentaje de sumergencia: 40%

Área activa (es el área del reactor que no se moja, es decir el área sobre la cual se forma la biopelícula): 7,13 m<sup>2</sup>

Número de etapas: 3

Velocidad de rotación: 3 rpm

#### ➤ PARÁMETROS VARIABLES

El caudal fue la variable que se manipuló durante el desarrollo del presente trabajo. Después de que el RBCs empezó a alimentarse en continuo, el caudal se mantuvo constante por periodos de 15 días y así cada vez que se incrementaba el caudal, como se puede observar en las tablas de resultados.

## 4. OPERACIÓN DEL REACTOR DE BIODISCOS

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos a lo largo del presente fase del trabajo de investigación. Al igual se presentan las diferentes gráficas comparativas del comportamiento de los parámetros en estudio para la determinación de la viabilidad de la utilización de un RBCs en el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario "La Esmeralda"

### 4.1. PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR DE BIODISCOS

El reactor fue puesto en marcha con una carga de 5 Litros/día de lixiviado crudo, se utilizaron 5 litros de lodos de la planta de lodos activos del SENA, con los cuales se obtuvo una muy buena respuesta en la proliferación de los microorganismos en el reactor. La formación de la biopelícula al igual que la permanencia de microorganismos fue evaluada desde la fecha de arranque del reactor de manera cualitativa, con buenos y muy aceptables resultados al hacer las diferentes observaciones en el microscopio.

Se realizaron las caracterizaciones de los parámetros correspondientes en el laboratorio de la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS. S.A.,E.S.P. con el fin de realizar un seguimiento al comportamiento del reactor, en los parámetros de pH, Color, Turbiedad, Sólidos Totales, Sólidos Totales volátiles, Sólidos Totales Fijos, Sólidos Suspendidos, Sólidos Suspendidos Volátiles, Sólidos Suspendidos Fijos, DBO<sub>5</sub> y DQO, siendo estos dos últimos parámetros los de mayor relevancia en el análisis. Se obtuvieron resultados no muy satisfactorios e inclusive algunos incoherentes durante la etapa de acondicionamiento del reactor, debido a los caudales de alimentación

bajos que se estaban manejando, lo cual producía obstrucciones en la válvula de alimentación al reactor por los sólidos que trae consigo el lixiviado causando errores en los tiempos de retención y por ende en los resultados. Esto sugirió llevar el seguimiento del comportamiento del reactor operando a altos caudales de alimentación; además, se encontró una buena respuesta con estas carga altas, como se puede ver más adelante en las tablas de resultados.

#### **4.2. PARÁMETROS DE ESTUDIO Y VARIACIÓN DE LA CARGA ALIMENTADA AL REACTOR**

Para la determinación de los valores de cada parámetro se siguieron los procedimientos indicados en el manual de análisis de aguas el cual recopila en un solo compendio los procedimientos de análisis basados en los métodos estandarizados de la APHA, AWWA y WPCF, que se llevan a cabo en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Los parámetros considerados en la evaluación del comportamiento del reactor y sus unidades correspondientes se presentan en la Tabla 7.

Durante el proceso de evaluación del reactor de biodiscos, se realizaron 27 caracterizaciones (los datos de cada parámetro medidos en el laboratorio se presentan en las tablas de caracterización presentadas en los anexos del presente trabajo), el caudal de alimentación fue variado desde 24 Litros/día hasta 98 Litros/día, para cada uno de estos caudales existe un tiempo de retención en el reactor y una carga de  $\text{DBO}_5$  de entrada en gramos de  $\text{DBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ , dependiendo de las condiciones del lixiviado en el día de la caracterización.



Tabla 7. Parámetros analizados, unidades y métodos

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO
pH	Unidades	Potenciométrico	DQO	mg O <sub>2</sub> /L	Reflujo
TEMPERATURA	°C	Termométrico	SÓLIDOS TOTALES	mg/L	Secado a 110°C
COLOR	U Pt Co	Colorimétrico	SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	mg/L	Filtración y secado a 110°C
TURBIEDAD	UNT	Turbidímetro	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L/h	Volumétrico
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	Incubación	NITRÓGENO	mg/L	Kjeldahl

En la tabla 8, se presenta la variación de carga alimentada al reactor durante todo el proceso de evaluación del biodiscos, a continuación se presenta una muestra de cálculo de estos parámetros.

Considerando, por ejemplo, los datos presentados en la Tabla 3 de los anexos, correspondiente a la corrida N.3, realizada el día 13 de marzo de 2003, se tiene un caudal de entrada de 24 L/día, para realizar el cálculo de tiempo de retención se procede así:

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{\text{volumen del reactor (L)}}{\text{caudal (L / día)}} * \frac{24 \text{ h}}{\text{día}}$$

El volumen del reactor es de 29,3 L, reemplazando se tiene;

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{29,3 \text{ L}}{24 \text{ L / día}} * \frac{24 \text{ h}}{\text{día}} = 29,3 \text{ h}$$

Para esta corrida, se tiene un valor de DBO<sub>5</sub> de entrada de 7,6 g/L, el cálculo de la Carga de DBO<sub>5</sub> de entrada (g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>\*día), se realiza siguiendo la ecuación:

$$Carga\ DBO_5 = \frac{Caudal(L/día) * Concentración\ DBO_5(g/L)}{Área\ Activa\ del\ reactor(m^2)}$$

Conociendo que el área activa del reactor es 7,13 m<sup>2</sup> y reemplazando se tiene;

$$Carga\ DBO_5 = \frac{24\ L/día * 7,6\ g/L}{7,13\ m^2} = 25,58\ (g\ DBO_5 / m^2 * día)$$

Tabla 8. Variación de caudal y carga orgánica durante el proceso

Corrida	Caudal	Tiempo retención	DBO <sub>5</sub> entrada	Carga DBO <sub>5</sub> entrada
N.	L/día	h	g/L	g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> *día
1	24	29,3	***	***
2	24	29,3	5200	17,50
3	24	29,3	7600	25,58
4	24	29,3	***	***
5	20	35,2	5600	15,71
6	24	29,3	4800	16,16
7	30	23,4	4400	18,51
8	56	12,6	4400	34,56
9	56	12,6	7800	61,26
10	64	11,0	4300	38,60
11	96	7,3	4000	53,86
12	80	8,8	4300	48,25
13	98	7,2	2200	30,24
14	98	7,2	2500	34,36
15	98	7,2	3800	52,23
16	98	7,2	4620	63,50
17	98	7,2	4900	67,35
18	98	7,2	4620	63,50
19	98	7,2	4690	64,46
20	98	7,2	6000	82,47
21	98	7,2	4600	63,23
22	50	14,1	4800	33,66
23	50	14,1	3600	25,25
24	50	14,1	3800	26,65
25	50	14,1	4800	47,12
26	70	10,0	5400	53,02
27	70	10,0	4600	45,16

Las casillas que en la tabla 8 que presentan el signo \*\*\* se refieren a que por algún motivo no se pudo determinar el valor de  $\text{DBO}_5$  y por consiguiente no se determina su carga orgánica pero se le hizo seguimiento a los demás parámetros.

Como se puede observar en la tabla 8, la variación de la carga orgánica se realizó en un rango amplio y significativamente alto, siendo la carga mínima alimentada al reactor de  $15,71 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2\cdot\text{día}$  y la carga máxima de  $82,47 \text{ gr DBO}_5/\text{m}^2\cdot\text{día}$  con tiempos de residencia de 35,2 y 7,2 h respectivamente.

#### 4.3. PUNTO DE MUESTREO Y BIOPELÍCULA ADHERIDA A LOS DISCOS

Los puntos de muestreo generales, fueron a la entrada (sedimentada), salida del reactor (sedimentada) salida del reactor, también se realizaron algunas caracterizaciones por compartimentos, teniéndose como parámetro el análisis de la DQO para el reactor. En ocasiones también se realizó la caracterización de esas variables filtrando la muestra y sin filtrarla. Los resultados de estos análisis se resumen más adelante para cada parámetro en estudio.

La Figura 6 muestra el reactor con sus diferentes puntos de muestreo:

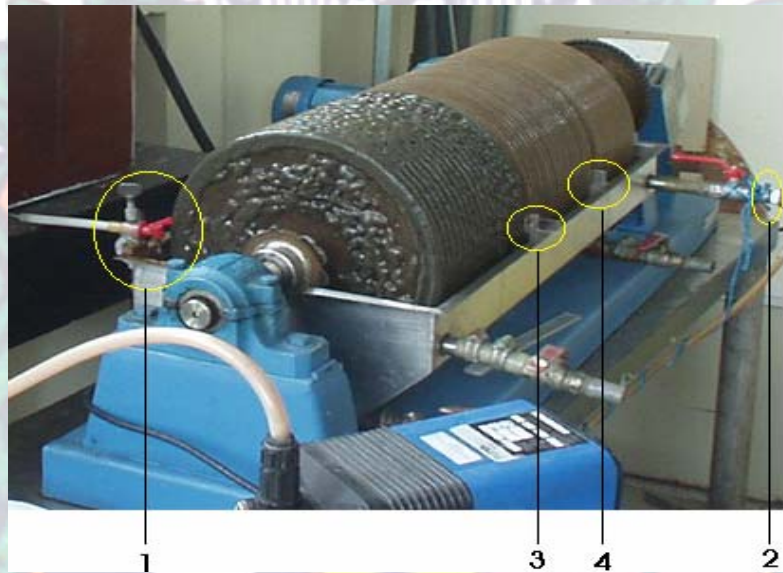
- 1- Se refiere a la entrada de lixiviado crudo al reactor.
- 2- Es el punto de salida del lixiviado tratado del reactor.
- 3- El punto muestra el tabique divisorio entre los compartimentos 1 y 2 del reactor.
- 4- Muestra la división entre los compartimentos 2 y 3 del reactor.

Es importante notar, que los tabiques fueron retirados del reactor luego de 2 meses de experimentación para evitar la saturación de la biopelícula en el primer compartimento del reactor, en la Figuras 7 se puede apreciar la



biopelícula formada en este primer compartimiento antes de retirar los tabiques. La Figura 8, se muestra el reactor luego de haber retirado los tabiques, aquí se puede apreciar la biopelícula nueva en una fase de crecimiento, mientras en el primer compartimiento la biopelícula se encuentra en una fase diferente (anaerobia) .

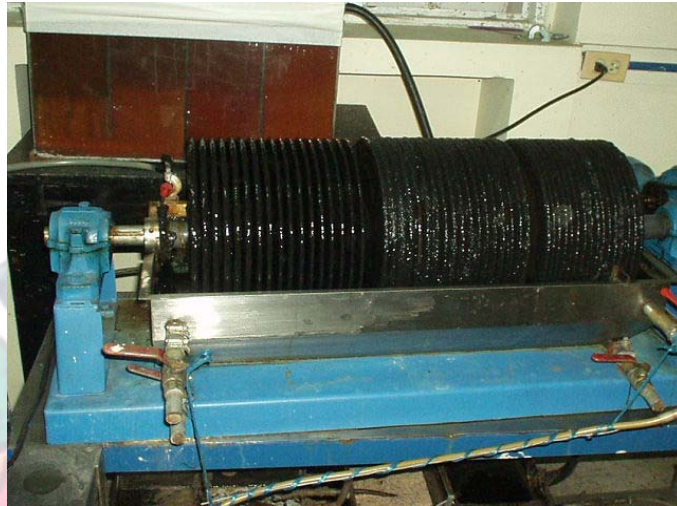
*Figura 6. Puntos de muestreo del reactor de biodiscos*



*Figura 7. Biopelícula en compartimientos 1 y 2 antes de su desprendimiento*



*Figura 8. Reactor de biodiscos sin tabiques y luego del desprendimiento de la biopelícula*



#### 4.4. COMPORTAMIENTO DEL REACTOR DE BIODISCOS.

##### 4.4.1. COMPORTAMIENTO DEL pH EN EL REACTOR DE BIODISCOS

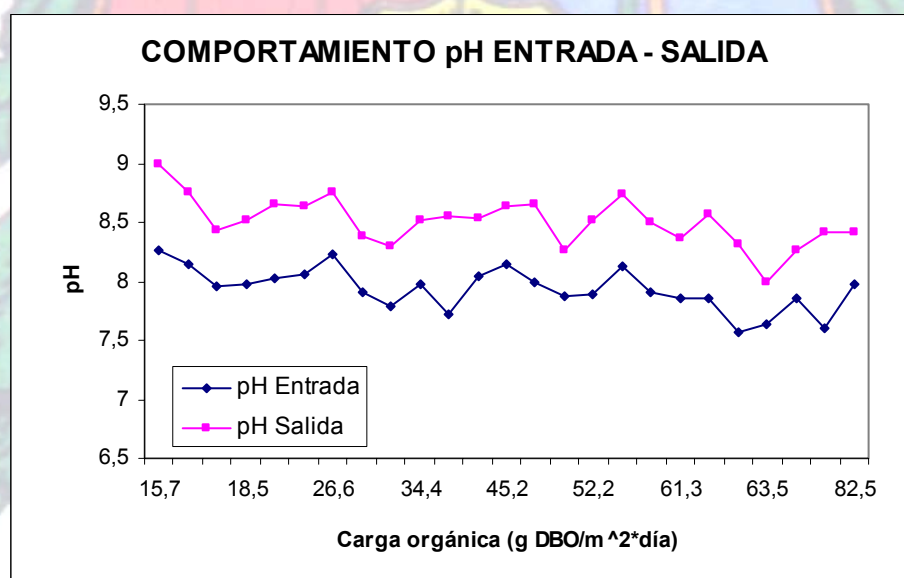
Los puntos de muestreo para la medición de este parámetro fueron entrada y salida del reactor, utilizándose un pH-metro en el momento del muestreo. Los resultados obtenidos para las diferentes caracterizaciones se presentan en la Tabla 9.

La gráfica correspondiente a la tabla 9 es la gráfica 1, en donde se aprecia el comportamiento de pH durante todo el proceso. Como se puede observar, el pH durante todo el proceso se comportó de la misma forma, siendo para todas las caracterizaciones mayor el pH a la salida que a la entrada del reactor; en ningún caso sucedió lo contrario. El valor más alto de pH en la salida del reactor fue de 9 y el más bajo de 7.99. Para la entrada del reactor, el valor más alto fue de 8.26 y el valor más bajo fue de 7.57. Como se puede observar en la gráfica 1, el pH es siempre mayor a la salida, como era de esperarse debido a la producción de  $\text{CO}_2$ .

Tabla 9. Variación del pH en el reactor de biodiscos

carga DBO <sub>5</sub> entrada g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> *día	pH entrada	pH salida	carga DBO <sub>5</sub> entrada g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> *día	pH entrada	pH salida
17,50	7,96	8,43	63,50	7,57	8,31
25,58	8,06	8,64	67,35	7,61	8,41
15,71	8,26	9	63,50	7,64	7,99
16,16	8,14	8,75	64,46	7,85	8,27
18,51	7,98	8,52	82,47	7,98	8,41
34,56	7,72	8,55	63,23	7,85	8,56
61,26	7,85	8,36	33,66	7,78	8,29
38,60	8,05	8,53	25,25	8,02	8,65
53,86	7,9	8,5	26,65	8,23	8,75
48,25	7,87	8,26	47,12	7,99	8,65
30,24	7,91	8,38	53,02	8,12	8,74
34,36	7,98	8,52	45,16	8,15	8,64
52,23	7,89	8,52			

Gráfica1. Variación del pH en el reactor de biodiscos



#### 4.4.2. VARIACIÓN DEL COLOR DURANTE EL PROCESO

La medición del color se realizó a la entrada y salida del reactor utilizando el espectrofotómetro (Spectroquant NOVA 60), el cual nos reporta unidades



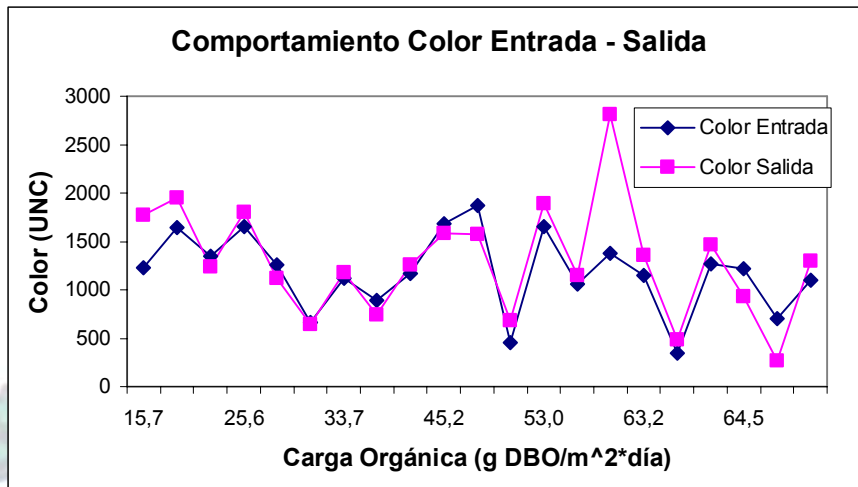
de color (UNC). los resultados se resumen en la Tabla 10, su gráfica correspondiente es la 2.

Como se puede apreciar en la tabla 10 la remoción en algunos casos es negativa ya que el color en la salida es casi siempre mayor a la entrada, (como era de esperarse) debido a biomasa suspendida que se produce en los procesos biológicos aerobios.

*Tabla 10. Variación del color en el reactor de biodiscos*

Carga DBO <sub>5</sub> entrada g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> *día	Color entrada UNC	Color salida UNC	% Remoción
15,71	1230	1770	-43,9
17,50	1640	1950	-18,9
25,25	1350	1240	8,1
25,58	1650	1800	-9,1
26,65	1260	1120	11,1
30,24	660	640	3,0
33,66	1120	1180	-5,4
34,36	890	740	16,9
38,60	1170	1260	-7,7
45,16	1680	1580	6,0
47,12	1870	1570	16,0
48,25	460	680	-47,8
53,02	1650	1890	-14,5
53,86	1060	1150	-8,5
61,26	1380	2810	-103,6
63,23	1150	1360	-18,3
63,50	350	490	-40,0
63,50	1270	1470	-15,7
64,46	1220	930	23,8
67,35	700	270	61,4
82,47	1100	1300	-18,2

Gráfica 2. Variación de color en el reactor de biodiscos



#### 4.4.3. VARIACIÓN DE LA TURBIEDAD DURANTE EL PROCESO

Para la medición de la turbiedad a la entrada y salida del reactor, se utilizó el espectrofotómetro (Spectroquant NOVA 60) el cual nos reporta los valores de unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Los resultados se resumen en la Tabla 11, su gráfica correspondiente es la 3.

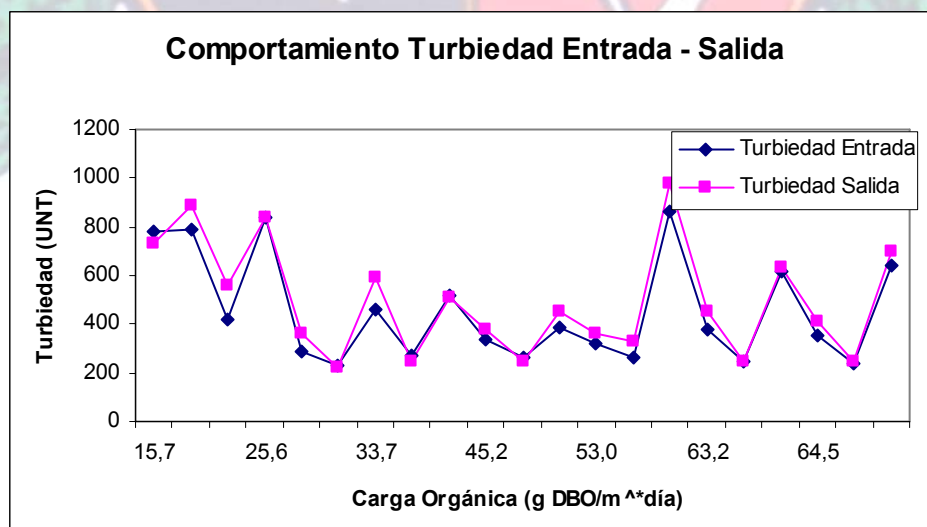
Al igual que el color, la presenta valores de remociones negativas y en la mayoría de los casos la turbiedad es más alta a la salida que a la entrada; como era de esperarse, debido a biomasa suspendida que se encuentra en esté.

En general, para los resultados de color y turbiedad, se puede concluir que para los resultados donde se presentaron remociones positivas, éstas fueron debido a fallas, como la no agitación de la muestra al momento de hacer las respectivas diluciones. Como también se puede observar, para los casos en los cuales la turbiedad y el color tienen valores bajos es debido a las bajas cargas ocasionadas por tiempo lluvioso.

Tabla 11. Variación de turbiedad en el reactor de biodiscos

Carga Orgánica de Entrada	Turbiedad entrada	Turbiedad salida	% Remoción
g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> *día	UNT	UNT	
15,71	780	730	6,4
17,50	790	890	-12,7
25,25	420	560	-33,3
25,58	840	840	0,0
26,65	290	360	-24,1
30,24	230	220	4,3
33,66	460	590	-28,3
34,36	270	250	7,4
38,60	520	510	1,9
45,16	340	380	-11,8
47,12	260	250	3,8
48,25	390	450	-15,4
53,02	320	360	-12,5
53,86	260	330	-26,9
61,26	860	980	-14,0
63,23	380	450	-18,4
63,50	250	250	0,0
63,50	620	630	-1,6
64,46	350	410	-17,1
67,35	240	250	-4,2
82,47	640	700	-9,4

Gráfica 3. Variación de la turbiedad en el reactor de biodiscos





#### 4.4.4. COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS TOTALES

Se analizó el comportamiento de los Sólidos Totales (STT, STV y STF) a la entrada (sedimentada) y salida (sedimentada) del RBCs. La tablas 12, 13 y 14, y las gráficas 4, 6 y 8 presentan los resultados obtenidos para estos 3 parámetros; las gráficas 5, 7 y 9 corresponden a los porcentajes de remoción vs la carga alimentada en  $\text{grDBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ .

La determinación de los sólidos totales se realizó de la siguiente manera;

Considerando los datos obtenidos en la caracterización, para la corrida N.3. (Tabla 3 de los Anexos) se tiene;

$$W1 = 56.1379 \text{ g}$$

$$W2 = 56.4002$$

$$W3 = 56.2485$$

$$\text{Volumen de muestra} = 25 \text{ ml}$$

$$\text{Sólidos Totales Totales} = (w2 - w1) * 1000 / \text{vol muestra}$$

$$\text{Sólidos Totales Volátiles} = (w2 - w3) * 1000 / \text{Vol muestra}$$

$$\text{Sólidos Totales Fijos} = (w3 - w1) * 1000 / \text{Vol muestra}$$

Reemplazando se tiene:

$$STT = \frac{(56,4002 - 56,1379)g}{25ml} * 1000(ml / L) = 10.492(g / L)$$

$$STV = \frac{(56.4002 - 56.2485)g}{25ml} * \frac{1000ml}{1L} = 6.068(g / L)$$

$$STF = \frac{(56.2485 - 56.1379)g}{25ml} * \frac{1000ml}{1L} = 4.424(g / L)$$

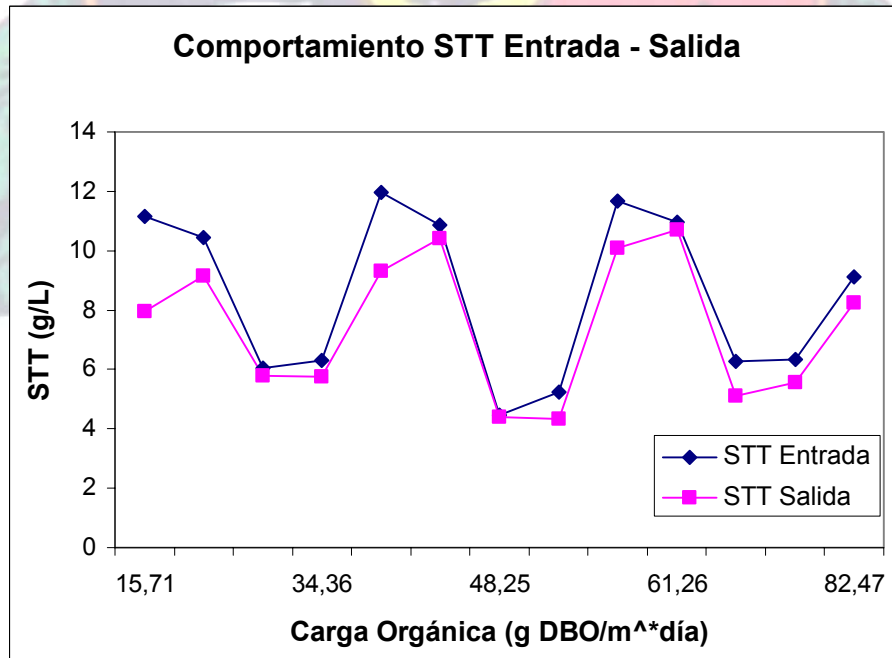
Y el porcentaje de remoción se calcula así:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{ST_{\text{Entrada}} - ST_{\text{Salida}}}{ST_{\text{Entrada}}} * 100$$

Tabla 12. Variación de sólidos Totales Totales en el reactor

Carga DBO <sub>5</sub> entrada	STT Entrada	STT Salida	% Remoción
gDBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> *día	g/L	g/L	
15,71	11,144	7,960	28,6
18,51	10,456	9,148	12,5
30,24	6,047	5,800	4,1
34,36	6,320	5,760	8,9
34,56	11,960	9,304	22,2
38,60	10,859	10,396	4,3
48,25	4,460	4,396	1,4
52,23	5,247	4,347	17,2
53,86	11,680	10,100	13,5
61,26	10,948	10,712	2,2
63,50	6,265	5,105	18,5
67,35	6,350	5,570	12,3
82,47	9,107	8,260	9,3

Gráfica 4. Variación de Sólidos Totales Totales en el reactor



Gráfica 5. % Remoción de Sólidos Totales Totales en el reactor

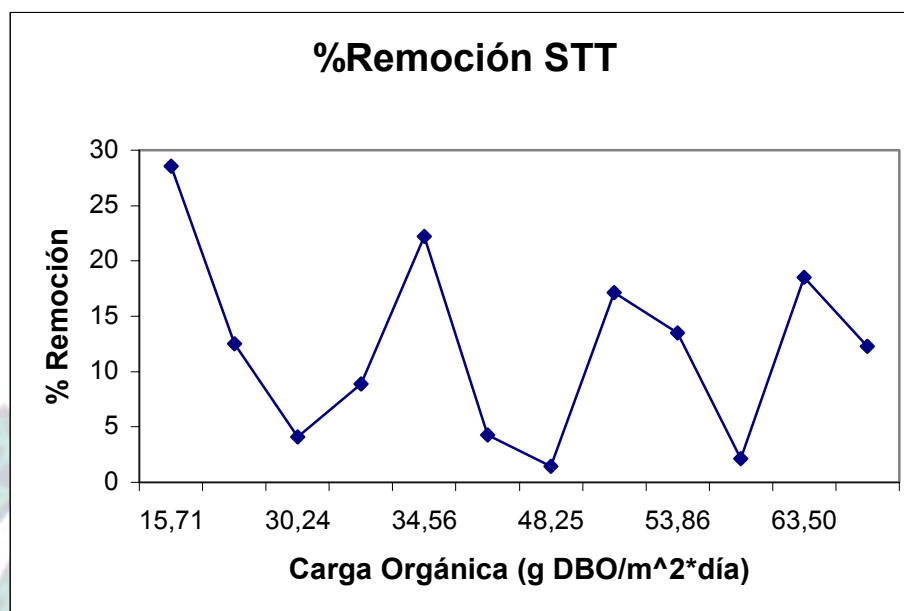
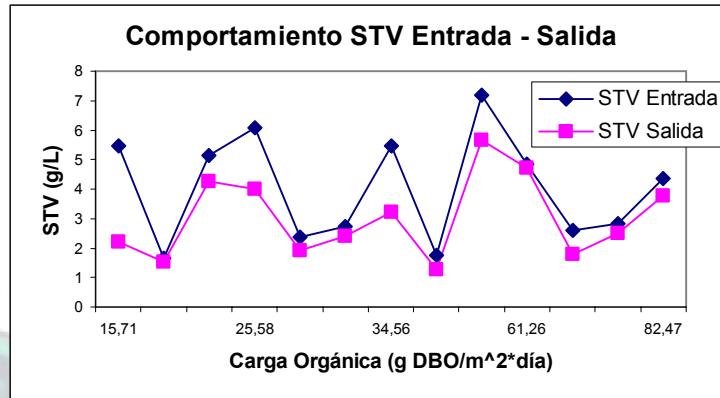


Tabla 13. Variación de Sólidos Totales Volátiles en el reactor

<b>Carga DBO 5 entrada</b>	<b>STV Entrada</b>	<b>STV Salida</b>	<b>% Remoción</b>
<b>gDBO5/m<sup>2</sup>*día</b>	<b>g/L</b>	<b>g/L</b>	
15,71	5,468	2,196	59,8
16,16	1,664	1,528	8,2
18,51	5,124	4,268	16,7
25,58	6,068	3,992	34,2
30,24	2,373	1,920	19,1
34,36	2,720	2,400	11,8
34,56	5,476	3,232	41,0
52,23	1,747	1,273	27,1
53,86	7,180	5,664	21,1
61,26	4,848	4,708	2,9
63,50	2,595	1,790	31,0
67,35	2,845	2,490	12,5
82,47	4,360	3,767	13,6



Gráfica .6. Variación de Sólidos Totales Volátiles en el reactor



Gráfica 7. % Remoción de Sólidos Totales Volátiles en el reactor

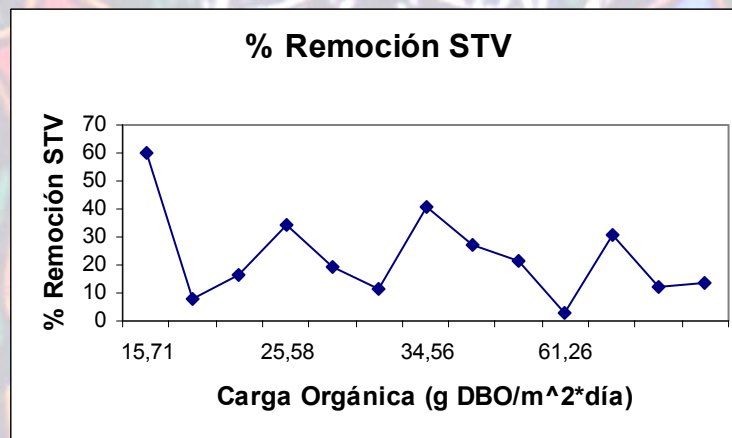
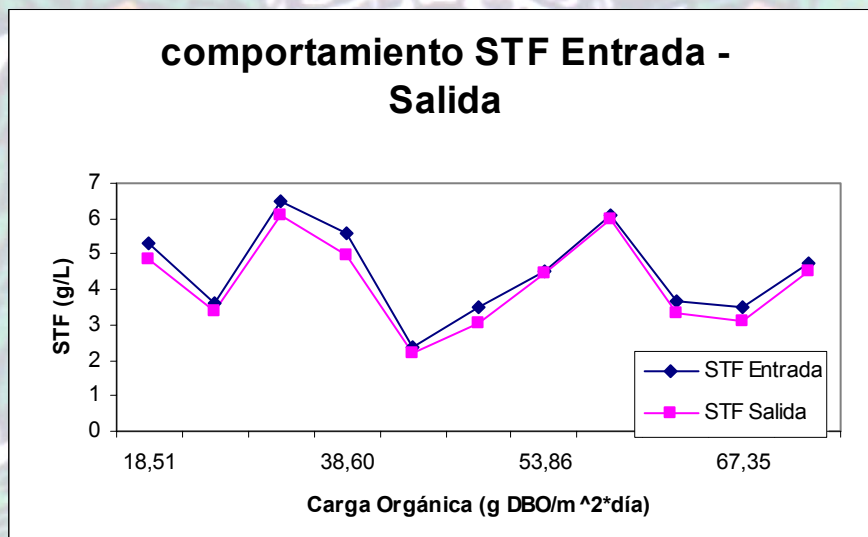


Tabla 14. Variación de Sólidos Totales Fijos en el reactor

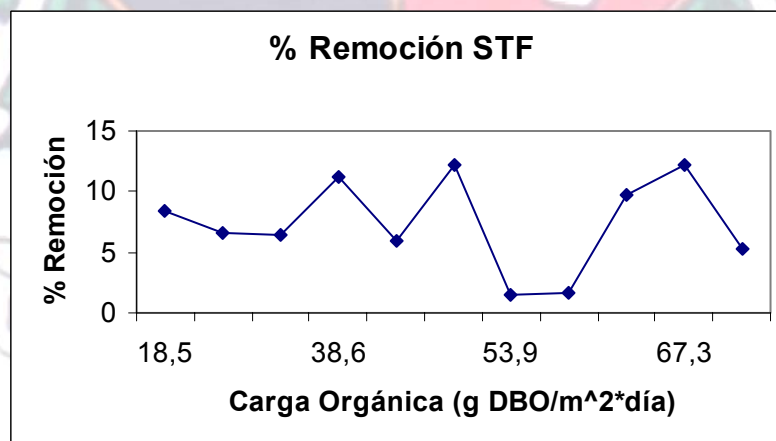
Carga DBO 5 entrada gDBO5/m <sup>2</sup> *día	STT Entrada g/L	STT Salida g/L	% Remoción
18,51	5,332	4,880	8,48
34,36	3,600	3,360	6,67
34,56	6,484	6,072	6,35
38,60	5,571	4,944	11,25
48,25	2,348	2,208	5,96
52,23	3,500	3,073	12,19
53,86	4,500	4,436	1,42
61,26	6,100	6,004	1,57
63,50	3,670	3,315	9,67
67,35	3,505	3,080	12,13
82,47	4,747	4,493	5,34

Como se aprecia en las gráficas 4, 6 y 8, los sólidos totales (STT, STF, STV), se comportan muy variable durante todo el proceso; los altibajos que se puede observar, pueden ser debido a cambios de la alimentación, ya que la concentración de los lixiviados es muy inestable. Las gráficas 5, 7 y 9 presentan la variación del porcentaje de remoción Vs la carga alimentada al reactor, se puede observar que el porcentaje de remoción más alto para cargas bajas, mientras que para carga altas el porcentaje disminuye.

Gráfica 8. Variación de Sólidos Totales Fijos en el reactor



Gráfica 9. % Remoción de Sólidos Totales Fijos en el reactor



Sin embargo si se analizan todos los datos y se teniendo en cuenta los tiempos de residencia altos ( 36 y 29 horas) que corresponde para los porcentajes mas altos; lo cual demuestra que debido a estos, muy posiblemente en el reactor se estuvo presentando una sedimentación, que en su respectivo análisis se representaría como remoción. Si se observan los demás datos por separado, se puede observar, que para tiempos de residencia moderados (7 y 14 horas), la remoción tiende a permanecer constante; con un cercano a 14%.

#### 4.4.5. COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Al igual que los sólidos totales, se hizo un seguimiento al comportamiento de los sólidos suspendidos (SST, SSV y SSF) en el RBCs. En las tablas 15, 16 Y 17, se resumen los resultados obtenidos para estos 3 parámetros se los sólidos suspendidos a la entrada (sedimentada) y salida (sedimentada). El comportamiento de los sólidos suspendidos se pueden apreciar en las gráficas 8, 10 y 12, pudiéndose observar que el comportamiento es similar a los sólidos Totales en cuanto a su variabilidad.

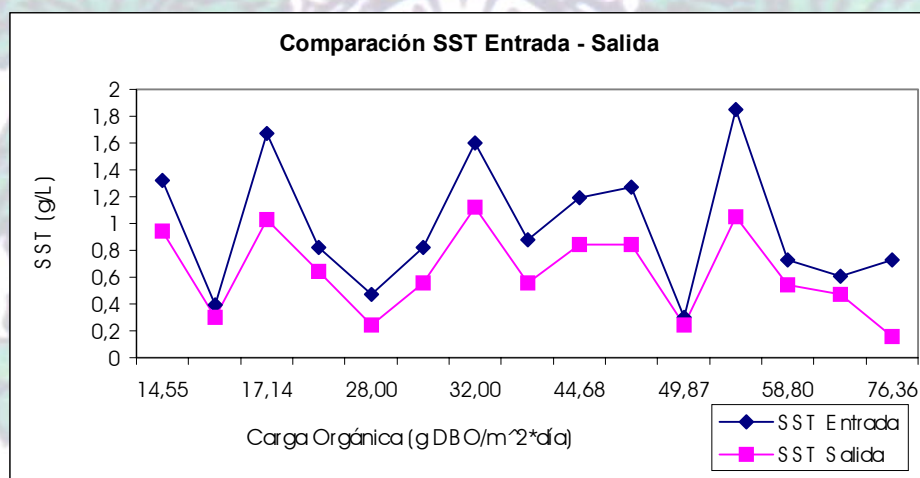
*Tabla 15. Variación de los Sólidos Suspendidos Totales en el reactor*

<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b>			
<b>Carga DBO<sub>5</sub> entrada</b>	<b>SST entrada</b>	<b>SST salida</b>	<b>% Remoción</b>
<b>g DBO<sub>5</sub>/m<sub>2</sub>*día</b>	<b>g/L</b>	<b>g/L</b>	
15,71	1,320	0,940	28,79
16,16	0,390	0,300	23,08
18,51	1,670	1,030	38,32
25,58	0,820	0,640	21,95
30,24	0,470	0,240	48,94
34,36	0,820	0,560	31,71
34,56	1,600	1,120	30,00
38,6	0,8818	0,560	36,46

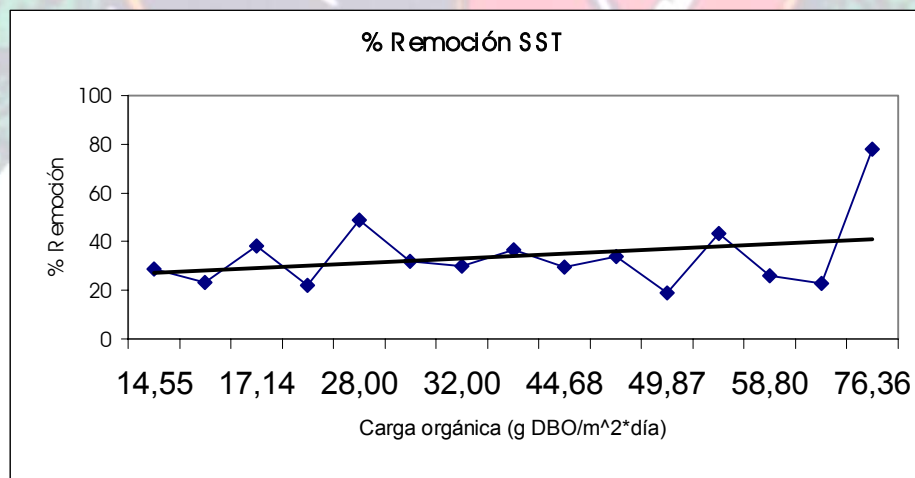


48,25	1,190	0,840	29,41
52,23	1,270	0,840	33,86
53,86	0,299	0,243	18,76
61,26	1,850	1,050	43,24
63,5	0,730	0,540	26,03
67,35	0,610	0,470	22,95
82,47	0,730	0,160	78,08

Gráfica 10. Variación de Sólidos Suspendedos Totales en el reactor



Gráfica 11. % Remoción de Sólidos Suspendedos Totales en el reactor

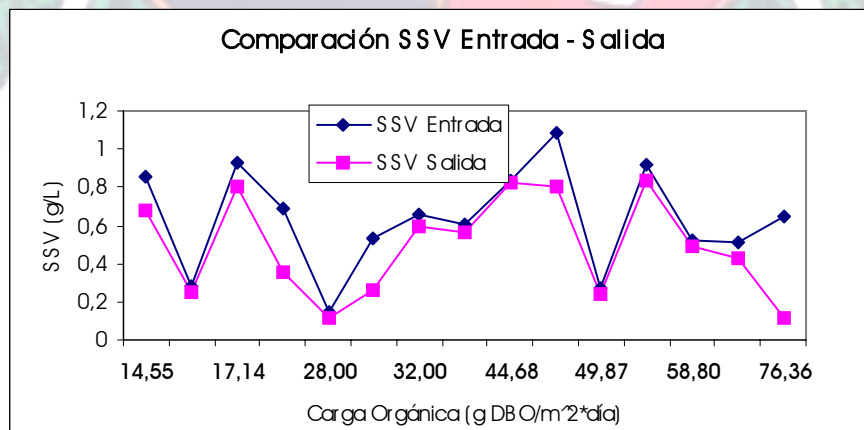


Como se puede observar en la gráfica 11, el porcentaje de remoción tiende a permanecer constante con un valor cercano a 30 %.

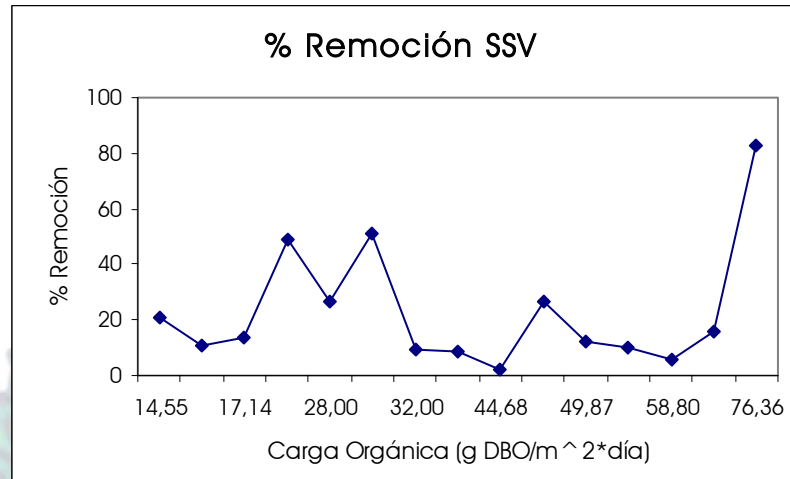
Tabla 16. Variación de Sólidos Suspendedos Volátiles en el reactor

<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES</b>			
<i>Carga DBO 5 entrada</i>	<i>SSV entrada</i>	<i>SSV salida</i>	<i>% Remoción</i>
<i>g DBO5/m<sup>2</sup>*día</i>	<i>g/L</i>	<i>g/L</i>	
15,71	0,860	0,680	20,93
16,16	0,280	0,250	10,71
18,51	0,930	0,800	13,98
25,58	0,690	0,350	49,28
30,24	0,150	0,110	26,67
34,36	0,530	0,260	50,94
34,56	0,660	0,600	9,09
38,6	0,610	0,559	8,44
48,25	0,840	0,820	2,38
52,23	1,090	0,800	26,61
53,86	0,272	0,239	12,08
61,26	0,920	0,830	9,78
63,5	0,520	0,490	5,77
67,35	0,510	0,430	15,69
82,47	0,650	0,110	83,08

Gráfica 12. Variación de Sólidos Suspendedos Volátiles en el reactor



Gráfica 13. % Remoción de Sólidos Suspendedos Volátiles en el reactor



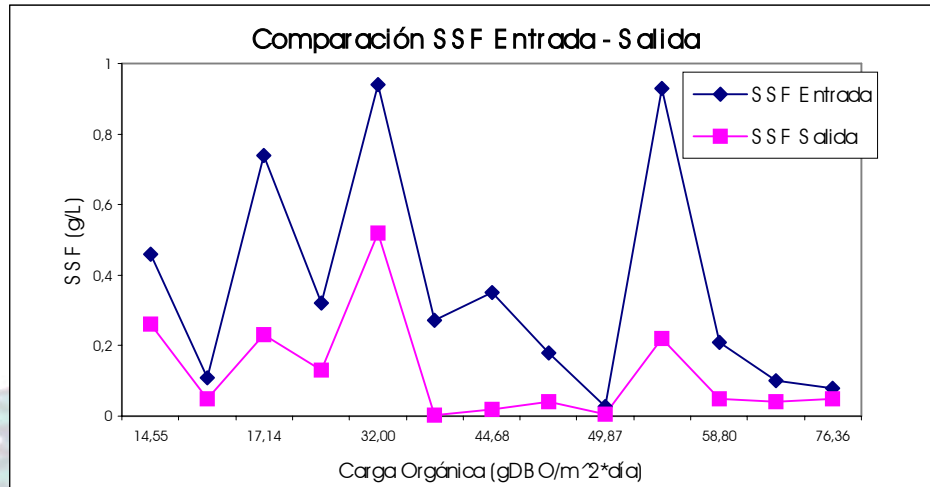
Como se puede observar en la gráfica 13, el porcentaje de remoción es muy variado mostrándose una tendencia a disminuir a medida que aumenta la carga; el valor promedio de 15%.

Tabla 17. Variación de Sólidos Suspendedos Fijos en el reactor

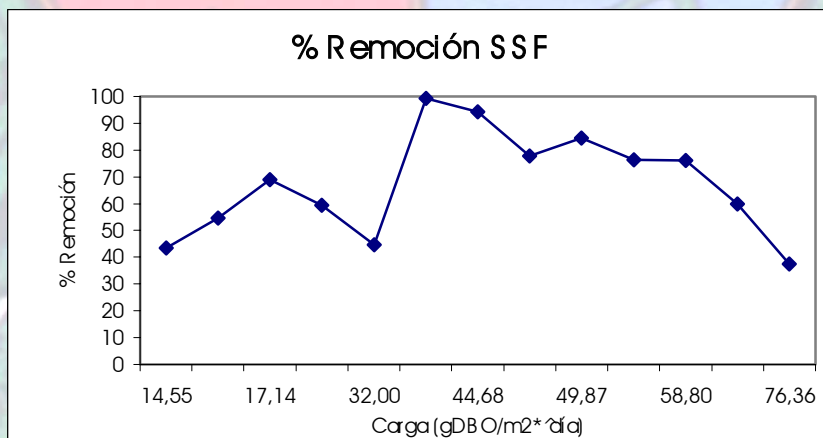
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS</b>			
<i>Carga DBO 5 entrada</i>	<i>SSF entrada</i>	<i>SSF salida</i>	<i>% Remoción</i>
<i>gDBO5/m<sup>2</sup>·día</i>	<i>g/L</i>	<i>g/L</i>	
15,71	0,460	0,260	43,48
16,16	0,110	0,050	54,55
18,51	0,740	0,230	68,92
25,58	0,320	0,130	59,38
30,24	0,940	0,520	44,68
34,36	0,272	0,002	99,34
34,56	0,350	0,020	94,29
38,6	0,180	0,040	77,78
48,25	0,028	0,004	84,42
52,23	0,930	0,220	76,34
53,86	0,210	0,050	76,19
61,26	0,100	0,040	60,00
63,5	0,080	0,050	37,50



Gráfica 14. Variación de Sólidos Suspendidos Fijos en el reactor.



Gráfica 15. % Remoción de Sólidos Suspendido Fijos



Como se puede observar en la gráfica 15, el porcentaje de remoción es muy variado para las diferentes cargas, el valor promedio es de 70 %.

#### 4.4.6. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) a la entrada (sedimentada) y salida del RBCs, es considerada como el principal parámetro en la determinación de la viabilidad del presente proyecto junto con la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Además de estos puntos

del RBCs muestreados; también se analizó la salida filtrada, salida sedimentada, utilizándose un sedimentador de 4,5 litros en volumen de agua. Además de un muestreo por compartimentos. La tabla 18 resume los resultados obtenidos de DQO a la entrada (sedimentada) y salida del RBCs.

Tabla 18. Concentración DQO en el reactor de blodiscos

<b>Caudal</b>	<b>DQO entrada</b>	<b>DQO salida</b>	<b>% remoción</b>
<i>L/día</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>DQO</i>
24	7400	3800	48,65
24	9062,5	4750	47,59
24	10750	6375	40,70
24	13111,2	9469,2	27,78
20	4356	2541	41,67
24	5520	3840	30,43
30	7920	5520	30,30
30	7680	5280	31,25
56	10584	4704	55,56
56	9072	5400	40,48
64	11312	9090	19,64
96	7632	3975	47,92
80	2886	1154,4	60,00
98	4400	2800	36,36
98	4000	2000	50,00
98	4704	2744	41,67
98	5040	1620	67,86
98	5220	2520	51,72
98	10124,4	7363,2	27,27
98	8590,4	7056,4	17,86
98	9370,96	5485,44	41,46
98	4324,64	3656,96	15,44
50	9710,4	7425,6	23,53
50	9139,2	7996,8	12,50
50	10281,6	7425,6	27,78
50	9710,4	7425,6	23,53
70	11500	7000	39,13
70	9500	7500	21,05

\*. Los valores correspondientes a las caracterizaciones 7 y 8 corresponden a la misma muestra, la primera realizada por el método de refluo abierto y la segunda por el método de refluo cerrado (micro)

Debido a que los valores obtenidos de DQO realizados por los dos métodos fueron iguales para las 3 muestras de entrada, salida y blanco, se optó por seguir realizando las caracterizaciones con DQO micro con el fin de racionar un poco los reactivos. En la Tabla 18 se ha presentado el resumen generalizado del comportamiento de la DQO entre los puntos de muestreo de entrada (sedimentada) y salida del RBCs. En la tabla 19 se resume la información obtenida y la comparación de la salida y salida filtrada.

*Tabla 19. Comparación entre DQO salida filtrada y sin filtrar*

<i>Caudal</i>	<i>DQO entrada</i>	<i>DQO salida</i>	<i>DQO sal. filtrada</i>	<i>% remoción</i>
<i>L/día</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>DQO</i>
56	10584	4704	4704	55,56
56	9072	5400	5400	40,48

Como se puede observar en la tabla 19, la muestra filtrada y sin filtrar, dieron idénticos resultados, lo cual indica que la DQO es netamente soluble.

También se realizaron varios ensayos para determinar el comportamiento de la DQO a la salida del reactor antes del sedimentador y después de éste, los resultados se presentan en la tabla 20. En estos resultados se puede ver claramente que sí existe gran diferencia entre los valores de la DQO de salida antes del sedimentador y después de éste.

Otro análisis adicional realizado fue el de observar el comportamiento de la DQO por compartimientos separados del reactor, en la Tabla 21 se resumen los resultados luego de estos ensayos. De la tabla se pueden apreciar el comportamiento de la DQO en los diferentes compartimientos del reactor, como se puede observar los porcentajes del primer compartimiento es alto teniendo en cuenta la remoción total; lo cual indica que los RBCs, en la primera etapa se puede diseñar para cargas altas.



Otra observación es que los RBCs funcionan como reactores de mezcla completa. Para esta fase de trabajo, hemos tenido tres reactores en serie de mezcla completa, comprobando lo que se encontró en la literatura.

Tabla 20. Comportamiento DQO salida del reactor y sedimentador

<i>Caudal</i>	<i>DQO entra.</i>	<i>DQO sal. Biodis.</i>	<i>DQO sal. Sedim.</i>	<i>% remoción DQO</i>		
				<i>reactor</i>	<i>sediment.</i>	<i>Global</i>
<i>L/día</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>			
64	11312	9090	5454	19,64	40,00	51,78
96	7632	3975	1696	47,92	57,33	77,78
80	2886	1154,4	577,2	60,00	50,00	80,00
98	4400	2800	2800	36,36	0,00	36,36
98	4000	2000	2000	50,00	0,00	50,00
98	4704	2744	2352	41,67	14,29	50,00
98	oct-13	1800	1620	64,29	10,00	67,85
98	5220	2520	2520	51,72	0,00	51,72
98	10124,4	7363,2	5829,2	27,27	20,83	42,42
98	8590,4	7056,4	5829,2	17,86	17,39	32,14
98	9370,96	5485,44	4799,76	41,46	12,50	48,78
98	4324,64	3656,96	3656,96	15,44	0,00	15,44

Tabla 21. Análisis de DQO en cada compartimiento del reactor

<i>muestra</i>	<i>DQO</i>	<i>% remoción</i>	<i>muestra</i>	<i>DQO</i>	<i>% remoción</i>
	<i>mg/L</i>			<i>mg/L</i>	
<i>Entrada</i>	5040		<i>Entrada</i>	5220	
<i>Compart. 1</i>	3780	25	<i>Compart. 1</i>	3960	24,3
<i>Compart. 2</i>	3420	32	<i>Compart. 2</i>	3780	27,5
<i>Compart. 3</i>	1980	60,7	<i>Compart. 3</i>	2880	44,8
<i>Salida Biod.</i>	1800	64,3	<i>Salida Biod.</i>	2520	51,17
<i>Salida sedim.</i>	1620	67,9	<i>Salida sedim.</i>	2520	51,17

Para poder ilustrar mejor el comportamiento que se obtuvo de la DQO a lo largo de la realización del proyecto, se presentan en la Tabla 22, los

resultados de la carga en g DQO/m<sup>2</sup>\*día de alimentación al reactor y de salida del reactor y sus respectivos porcentajes de remoción. Las gráficas 16, 17 y 18 presentan el comportamiento de la DQO entre los dos puntos de muestreo, el comportamiento de la carga removida de DQO por carga de alimentación y los porcentajes de remoción de acuerdo a la carga orgánica en grDBO/m<sup>2</sup>/día alimentada al reactor en los casos en que se tienen estos datos para comparar, respectivamente.

La gráfica 16 muestra como todos los valores de entrada son menores que los de la salida y además se encuentran relativamente alejadas estas dos líneas, lo cual nos indica que siempre existió remoción de DQO en el reactor.

El valor de carga de DQO más alto es de 139,16 g DQO/m<sup>2</sup>\*día y el más bajo es de 12,22 g DQO/m<sup>2</sup>\*día.

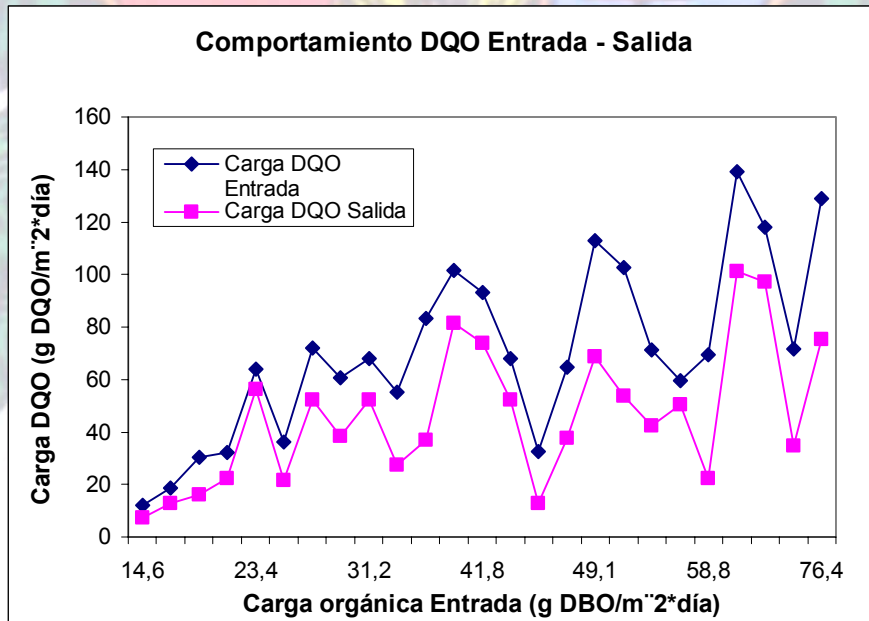
*Tabla 22. Resultados DQO en términos de carga de DQO*

<i>Tiempo de retención</i>	<i>Carga DBO 5 entrada</i>	<i>Carga DQO entrada</i>	<i>Carga DQO salida</i>	<i>Carga DQO removida</i>	<i>% remoción</i>
<i>horas</i>	<i>grDBO5/m<sup>2</sup>*día</i>	<i>grDQO/m<sup>2</sup>*día</i>	<i>grDQO/m<sup>2</sup>*día</i>	<i>grDQO/m<sup>2</sup>*día</i>	<i>DQO</i>
29,70	***	24,91	12,79	12,12	48,65
29,70	17,5035	30,50	15,99	14,52	47,59
29,70	25,5820	36,19	21,46	14,73	40,70
29,70	***	44,13	31,87	12,26	27,78
35,64	15,7083	12,22	7,13	5,09	41,67
29,70	16,1571	18,58	12,93	5,65	30,43
23,76	18,5133	32,31	22,22	10,10	31,25
12,73	34,5582	83,13	36,95	46,18	55,56
12,73	61,2623	71,25	42,41	28,84	40,48
11,14	38,5975	101,54	81,59	19,95	19,64
7,43	53,8569	102,76	53,52	49,24	47,92
8,91	48,2468	32,38	12,95	19,43	60,00
7,27	30,2384	60,48	38,49	21,99	36,36

7,27	34,3619	54,98	27,49	27,49	50,00
7,27	52,2300	64,66	37,72	26,94	41,67
7,27	63,5007	69,27	22,27	47,01	67,86
7,27	67,3492	71,75	34,64	37,11	51,72
7,27	63,5007	139,16	101,21	37,95	27,27
7,27	64,4628	118,07	96,99	21,08	17,86
7,27	82,4684	128,80	75,40	53,41	41,46
7,27	63,2258	59,44	50,26	9,18	15,44
14,26	33,6606	68,10	52,07	16,02	23,53
14,26	25,2454	64,09	56,08	8,01	12,50
14,26	26,6480	72,10	52,07	20,03	27,78
10,18	47,1248	68,10	52,07	16,02	23,53
10,18	53,0154	112,90	68,72	44,18	39,13
10,18	45,1613	93,27	73,63	19,64	21,05

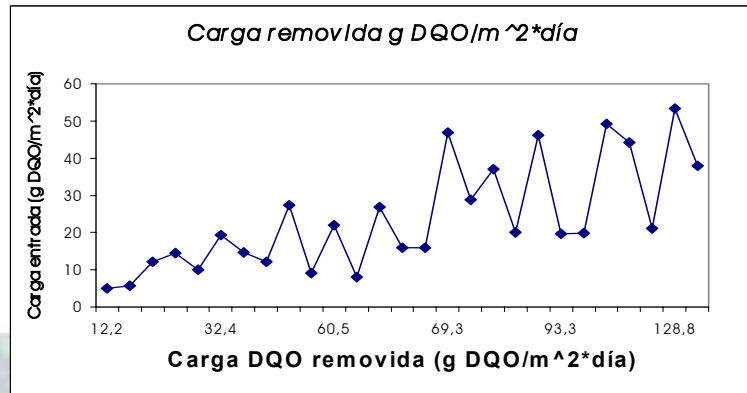
De acuerdo a la gráfica 17, se presentan una promedio o tendencia importantes remociones en carga de DQO, correspondiente a

Gráfica 16. Comportamiento DQO entrada y salida del reactor

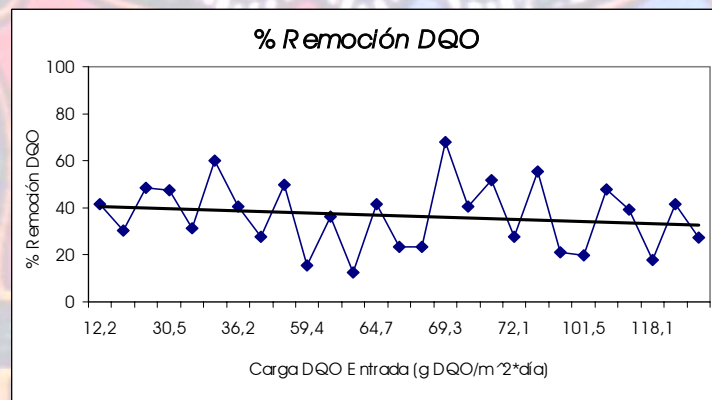




Gráfica 17. Carga DQO removida por Carga DQO alimentada



Gráfica 18. % Remoción de DQO según Carga de DBO<sub>5</sub> alimentada



De la gráfica 18 se puede observar que porcentaje de remoción tiende a mantenerse constante; lo cual nos indica que RBCs tiende a remover una determinada cantidad de carga en gr DQO/ m<sup>2</sup>\* día.

#### 4.4.7. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO(DBO<sub>5</sub>)

La variación de la demanda bioquímica de oxígeno entre la entrada y salida del reactor de biodiscos durante el proceso, se resume en la Tabla 23. Las gráficas representativas de la tabla 23, relacionando primero en la gráfica 19 los valores de DBO<sub>5</sub> tanto de la entrada como de la salida del reactor, en la gráfica N. 20 se presenta la carga de DBO removida según la carga de DBO alimentada en g DBO/m<sup>2</sup>\*día, finalmente en la gráfica N. 21,

se presenta el porcentaje de remoción de DBO obtenido para cada caracterización, según la carga de DBO que entra al reactor.

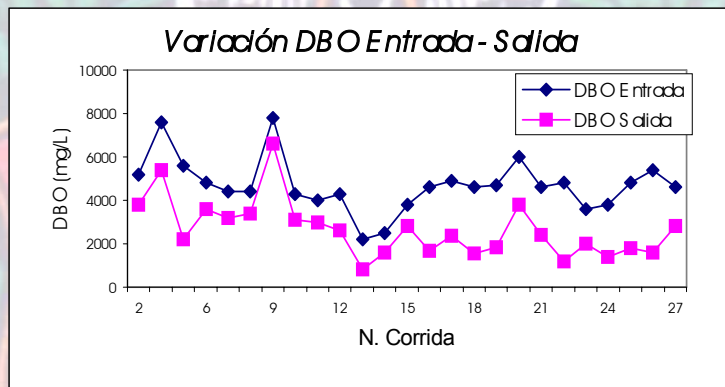
La gráfica 24, presenta el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno a la entrada y salida del biodiscos, como se puede observar en los resultados de entrada están siempre por encima de los puntos de salida, obteniéndose remoción de DBO en el reactor, en todas las caracterizaciones.

*Tabla 23. Comportamiento de la DBO entrada y salida del reactor*

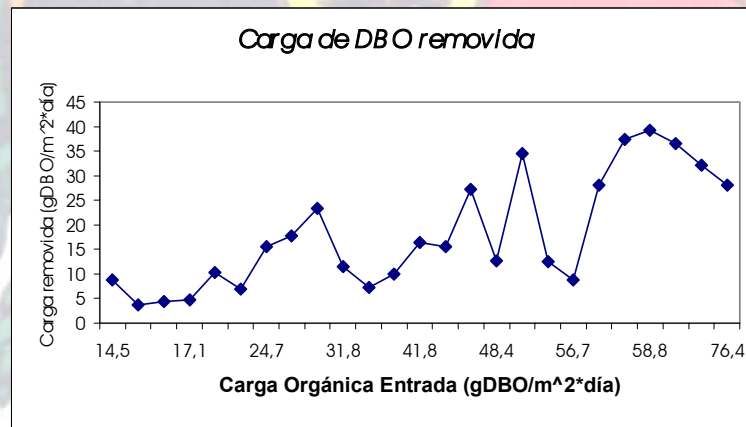
<b>Corrida</b>	<b>Caudal</b>	<b>DBO5 entrada</b>	<b>DBO5 salida</b>	<b>% remoción</b>
<b>N.</b>	<b>L/día</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>DBO</b>
2	24	5200	3800	26,92
3	24	7600	5400	28,95
5	20	5600	2200	60,71
6	24	4800	3600	25,00
7	30	4400	3200	27,27
9	56	4400	3400	22,73
10	56	7800	6600	15,38
11	64	4300	3100	27,91
12	96	4000	3000	25,00
13	80	4300	2600	39,53
14	98	2200	800	63,64
15	98	2500	1600	36,00
16	98	3800	2800	26,32
17	98	4620	1680	63,64
18	98	4900	2380	51,43
19	98	4620	1540	66,67
20	98	4690	1820	61,19
21	98	6000	3800	36,67
22	98	4600	2400	47,83
23	50	4800	1200	75,00
24	50	3600	2000	44,44
25	50	3800	1400	63,16
26	70	4800	1800	62,50
27	70	5400	1600	70,37
28	70	4600	2800	39,13

En la gráfica 19, se puede apreciar, que para la mayoría de carga en ( $\text{grDBO}_5/\text{m}^2\text{día}$ ) en la entrada, los altibajos es debido a los propiedades de la alimentación, ya que las concentraciones de los lixiviados es muy variable, debido a esto, se puede observar una tendencia constante para cualquier carga suministrada al reactor; como se puede observar en las gráficas 19 y 20.

Gráfica 19. Comportamiento  $\text{DBO}_5$  Entrada y salida del reactor



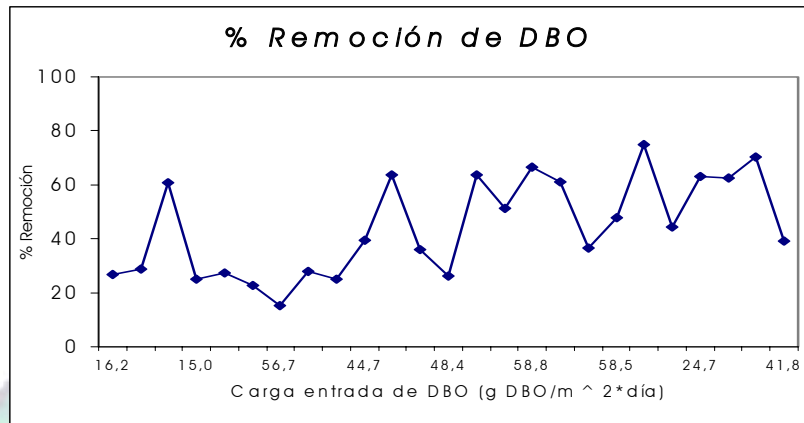
Gráfica 20. Carga orgánica removida.



La gráfica 21, en donde se presenta el porcentaje de remoción según la carga de entrada al reactor en  $\text{grDBO}_5/\text{m}^2\text{día}$ , muestra una tendencia a mantenerse constante de 40%, como se puede observar en la figura 24 con un nivel de confianza del 95%.

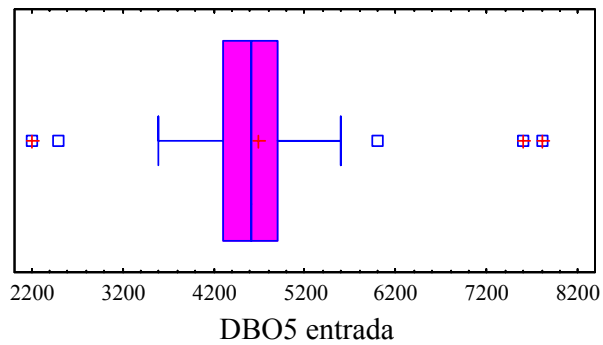


Gráfica. 21. % Remoción DBO<sub>5</sub> según carga de DBO<sub>5</sub> alimentada



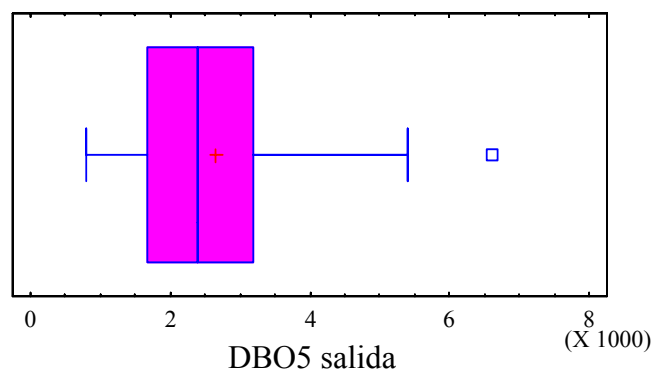
Gráfica 22, promedio g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>día a la entrada del reactor

Box-and-Whisker Plot

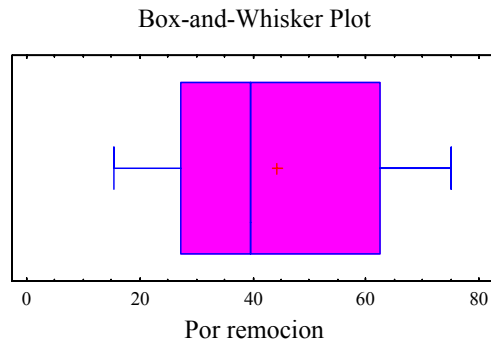


Gráfica 23, Promedio g DBO<sub>5</sub> /m<sup>2</sup>día a la salida del reactor

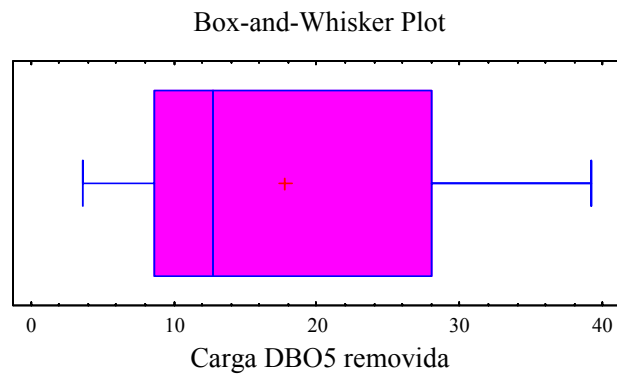
Box-and-Whisker Plot



Gráfica 24, Promedio porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> en el reactor



Gráfica 25. promedio de carga removida g DBO<sub>5</sub> /m<sup>2</sup>día



#### 4.4.8. COMPORTAMIENTO DEL NITRÓGENO

La Tabla 24, resume los resultados obtenidos para el Nitrógeno, se tomaron 2 datos para dos caudales diferentes de 50 L/día y 70 L/día.

Tabla 24. Comportamiento Nitrógeno Total, entrada y salida

<i>Caudal</i>	<i>N total Entrada</i>	<i>N Total salida</i>	<i>% Remoción</i>
<i>L/día</i>	<i>mg/L</i>	<i>mg/L</i>	
50	1280,3	1070,4	16,39
50	1212,2	1025	15,423
50	1243,3	1056,72	15
70	1240,5	1080,2	12,92
70	1235,3	1078,2	12,7

## 5. DISEÑO PRELIMINAR DEL REACTOR DE BIODISCOS

Como ya se mencionó, los RBCs se pueden utilizar para la remoción de la  $DBO_5$ , nitrógeno total, sólidos totales de los lixiviados provenientes del relleno sanitario La Esmeralda. Haciendo uso de la ecuación que modela el proceso biológico encontrada en MORRS & LEVIN, teniendo en cuenta las variables de entrada como:  $gr\ DBO_5$ , caudal y temperatura, se tiene:

$$\frac{C_e}{C_a} = 14,2 \left[ \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^{0,558}}{EXP^{0,32*N} C_a^{0,684} T^{0,284}} \right] \quad (1)$$

Donde:

$C_e$  : concentración en el efluente  $\langle grDBO_5 / m^3 \rangle$

$C_a$  : concentración de el afluente  $\langle grDBO_5 / m^3 \rangle$

$Q$  : caudal  $\langle gal / dia \rangle$

$A$  : área activa total  $\langle pies^2 \rangle$

$T$  : temperatura  $\langle ^\circ C \rangle$

$N$  : numero de etapas

Para el diseño preliminar del reactor de biodiscos, se propondrán tres reactores en serie, pero su análisis se hará por separado para obtener tres área y sus respectivas relaciones. Como se puede observar en la tabla 22, cada compartimiento tiene aproximadamente la misma área activa, sin



embargo la remoción de la DQO fue diferente para cada compartimiento, siendo mayor para el primer compartimiento y menor para el tercero; donde se puede considerar que el área del compartimiento uno debe de ser menor que el área dos, y el área dos menor que la tres. El valor de n para cada etapa del reactor, es de uno ( $n = 1$ ).

Partiendo de la ecuación (1) y ordenando, se obtiene:

$$C_e = 14,2 \left[ \frac{Q^{0,558}}{\exp^{0,32} T^{0,284}} \right] \frac{C_a^{0,316}}{A^{0,558}} \quad (2)$$

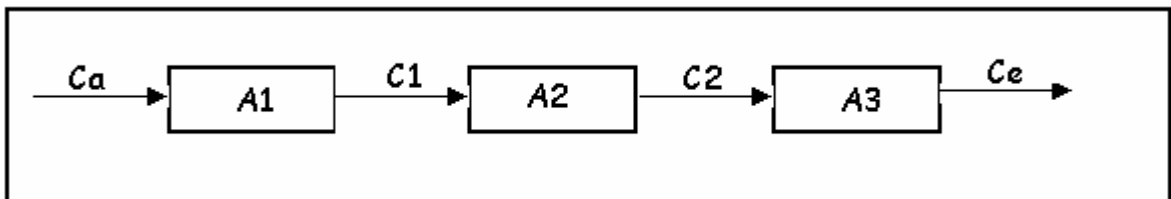
Para efectos de la modelación matemática, se tomara como constante Q y T, obteniéndose una nueva variable k:

$$k = 14,2 \left[ \frac{Q^{0,558}}{\exp^{0,32} T^{0,284}} \right] \quad (3)$$

La ecuación (2) queda:

$$C_e = k \frac{C_a^{0,316}}{A^{0,558}} \quad (4)$$

Figura 9. Esquema del diseño preliminar del reactor de biodiscos



Haciendo un balance de materia para el primer reactor, de la figura , se obtiene:

$$C_1 = k \frac{C_a^{0,316}}{A_1^{0,558}} \quad (5)$$

$$C_1 = f(A_1)$$

Haciendo un balance de material en el segundo reactor, se obtiene:

$$C_2 = k \frac{C_1^{0,316}}{A_2^{0,558}} \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación (5) en la (6) y ordenando, se obtiene:

$$C_2 = K^{1,316} \frac{Ca^{0,316^2}}{A_1^{0,558*0,316} * A_2^{0,558}} \quad (7)$$

$$C_2 = f(A_1, A_2)$$

Haciendo un balance de material en el tercer reactor, se obtiene:

$$Ce = k \frac{C_2^{0,316}}{A_3^{0,558}} \quad (8)$$

Reemplazando la ecuación (7) en la (8) y ordenando, se obtiene:

$$Ce = k^{1,632} \frac{Ca^{0,316^3}}{A_1^{0,558*0,316^2} * A_2^{0,558*0,316} A_3^{0,558}} \quad (8)$$

$$Ce = f(A_1, A_2, A_3).$$

Haciendo un nuevo cambio de variables, se obtiene:

$$K = k^{1,632} Ca^{0,316^3} \quad (9)$$

Reemplazando la ecuación (9) en la (8) y reorganizando, se obtiene:

$$Ce = K * A_1^{-0,558*0,316*0,316} * A_2^{-0,558*0,316} * A_3^{-0,558} \quad (10)$$

Para optimizar el área se deriva y se iguala a cero.

$$\frac{dCe}{A_1} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{dCe}{A_1} = -0,558 * 0,316 * 0,316 * A_1^{-1-0,558*0,316*0,316} * A_2^{-0,558*0,316} * A_3^{-0,558} = 0$$

(12)

$$\frac{dCe}{A_2} = -0,558 * 0,316 * K * A_1^{-0,558*0,316*0,316} * A_2^{-1-0,558*0,316} * A_3^{-0,558} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{dCe}{A_3} = -0,558 * K * A_1^{-0,558*0,316*0,316} * A_2^{-0,558*0,316} * A_3^{-1,558} = 0 \quad (14)$$

Igualando y organizando las ecuaciones (12) y (13) y las (12) y (14), se obtiene:

$$A_2 = 3,165 * A_1 \quad (15)$$

$$A_3 = 10,01 * A_1 \quad (16)$$

Las ecuaciones (15) y (16) son las relaciones del área optima para el diseño del reactor de biodiscos.

Para hallar el porcentaje de cada el área, se halla la sumatoria de las áreas.

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_T = A_1 + 3,165 * A_1 + 10,01 * A_1$$

$$A_T = 14,179 * A_1$$

El porcentaje de cada área, esta dado por la relación de cada área y el área total multiplicado por cien.

$$\%A_1 = \frac{A_1}{14,179 * A_1} * 100 = 7,05\%$$

$$\%A_2 = \frac{3,165 * A_1}{14,179 * A_1} * 100 = 22,32\%$$

$$\%A_3 = \frac{10,01 * A_1}{14,179 * A_1} = 70,63\%$$

Estos porcentajes también corresponden al número total de discos necesarios para el diseño del reactor.



Para el cálculo del área total, hay que tener en cuenta el caudal promedio de lixiviado por día, así como su concentración en el afluente medida como  $\text{gr DBO}_5$ .

Para hacer una aproximación real del reactor que se necesita en el relleno sanitario "La Esmeralda", se van a tener en cuenta el caudal diario ( $\text{m}^3$ ), una concentración en  $\text{gr DBO}_5/\text{m}^3$  y un porcentaje de remoción entre el 23% y 62% tomándose como valor medio 40% (gráfica 24) y una carga removida entre los 8 y 28  $\text{gr DBO}_5/\text{m}^2 \text{ día}$ , tomándose como valor medio 14  $\text{gr DBO}_5/\text{m}^2 \text{ día}$  (gráfica 24 y 25).

Para las propiedades de un lixiviado teniendo en cuenta los caudales de tiempo de lluvia y verano. Se van a hacer dos aproximaciones del área total necesaria.

La carga orgánica del lixiviado a remover sería el producto del caudal por la concentración por el porcentaje de remoción.

Carga orgánica =  $Q * C * \% \text{ Remoción}$

Carga orgánica =  $216 \text{ m}^3 / \text{ día} * 3000 \text{ gr} / \text{ m}^3 * 40\%$

Carga orgánica = 151 200  $\text{gr DBO}_5 / \text{ día}$  a remover.

Para calcular el área total, se divide la carga orgánica a remover por los  $\text{gr DBO}_5/\text{m}^2$  que se encontró durante la fase experimental.

$$A_T = \frac{\text{gr DBO}_5 / \text{ día}}{\text{gr DBO}_5 / \text{ m}^2} = \text{m}^2$$

Para hallar el número de discos necesarios, se divide el  $A_T$  por el área de cada disco, que según la literatura los más grandes que se pueden utilizar para tal fin son de 3.6 m de diámetro, proporcionando un área activa de 20.2 m<sup>2</sup> por disco aproximadamente.

$$N_{\text{discos}} = \frac{A_T}{A_{\text{DISCOS}}} = \frac{m^2}{13,57m^2 / \text{disco}} = \text{discos}$$

El máximo caudal es de aproximadamente 2,5 l/s, con una concentración de 3 gr DBO<sub>5</sub>/l que corresponde a época lluviosa (invierno).

Donde el caudal diario será:

$$Q = 2,5 \frac{l}{s} * \frac{84600s}{\text{día}} * \frac{m^3}{1000l} = 216m^3$$

La concentración en gr DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> esta dada por:

$$C = 3 \frac{\text{grDBO}_5}{l} * \frac{1000l}{m^3} = 3000 \frac{\text{grDBO}_5}{m^3}$$

La carga orgánica en gr DBO<sub>5</sub>/día a tratar es:

$$\text{gr} \frac{\text{DBO}_5}{\text{día}} = Q * C = 3000 \frac{\text{grDBO}_5}{m^3} * \frac{216m^3}{\text{día}} = 648000 \frac{\text{grDBO}_5}{\text{día}}$$

Con la ayuda de la gráfica 24 de porcentaje de remoción vs gr DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>día, se puede observar que la máxima remoción que se pudo obtener fue del 40%. Y de la gráfica 25 grDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>día vs gr QDO /m<sup>2</sup>día, se puede observar la carga media a remover es de 14 grDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>día, de donde se puede inferir el área total:

$$A_T = \frac{grDBO_5 * \%remoción}{grDBO_5 / m^2 * dia} = \frac{648000 grDBO_5 * 40\%}{14 grDBO_5 / m^2 * dia} = 18514.3 m^2$$

$$A_T = 18514 m^2$$

$$\text{Numero de discos} = 18514.3 m^2 / 20.3 m^2 / \text{disco} = 912 \text{ discos.}$$

Análogamente para el caudal de 1,7 l/s y con una concentración de 8 grDBO<sub>5</sub>/l que corresponde a época de verano, el caudal diario y la concentración dada es:

$$Q = 143,82 m^3 / \text{día}$$

$$C = 8000 \text{ grDBO}_5 / m^3$$

$$\frac{grDBO_5}{día} = 8000 \frac{grDBO_5}{m^3} * 143,82 \frac{m^3}{día} = 1150560 \frac{grDBO_5}{día}$$

$$A_T = \frac{grDBO_5 / día * \%remoción}{grDBO_5 / m^2 día} = \frac{1150560 grDBO_5 / día * 40\%}{14 grDBO_5 / m^2 día} = 32873 m^2$$

$$\text{Numero de discos} = 32873 m^2 / 20.3 m^2 / \text{disco} = 1619 \text{ discos.}$$

Para el presente diseño se tomara el área mayor (32873m<sup>2</sup>), que corresponden a tres reactores de 8 m de longitud cada uno con discos de 3,6 m de diámetro.

Cada reactor tendrá un área activa de 10958 m<sup>2</sup> (540 discos) con 3 compartimientos. El primer compartimiento tendrá 39 discos, el segundo compartimiento 121 discos y el tercer compartimiento tendrá 280 discos.



## CONCLUSIONES

- El RBC fue usado como en tratamiento secundario para los lixiviados producidos en el relleno sanitario La Esmeralda de la ciudad de Manizales, el cual contiene unas concentraciones de  $\text{DBO}_5$  muy variables, los altos contenidos de Nitrógeno total, así como la presencia de materiales tóxicos y peligrosos. Las conclusiones obtenidas durante el presente trabajo son:
- El RBCs utilizado dio unos resultados muy satisfactorios y tolerantes en cuanto a la remoción de  $\text{BDO}_5$ , como se puede observar en el gráfico de gr DQO removidos vs g  $\text{DBO}_5$  removidos, obteniéndose su respectiva correlación.
- De acuerdo con los resultados de remoción de  $\text{DBO}_5$  obtenidos en el RBCs piloto trabajo dentro de un rango 50% para concentraciones altas y 80% para concentraciones bajas, se puede diseñar el RBCs a escala real utilizándose el porcentaje de remoción mas alto y teniendo en cuenta los gramos de  $\text{DBO}_5$  removidos por metro cuadrado día.
- Con la ecuación encontrada en el libro de Morris A. Lewin, se diseño y optimizo el RBCs a escala real, ya que funcionan como mezcla completa, según lo reportado en la literatura.
- El pH se mantuvo constante a la salida del RBCs, el OD en la pocas veces que se midió fue de 1 mg /l al cual no se le hizo seguimiento

permanente ya que lo reportado en la literatura en los RBCs solamente hay saturación de oxígeno en la biopelícula.

- La velocidad de rotación de los discos se mantuvo entre 3 y 4 rpm, no encontrándose una apreciable diferencia entre estas, una velocidad mas alta puede ocasionar que la fuerza boyante de los discos sobre los lixiviados, el 40% del área activa no este en contacto con los lixiviados, debiéndose en parte a la viscosidad que estos presentan; lo anterior se pudo observar en algunas interrupciones del fluido eléctrico, cuando se pudo observar que el nivel del líquido estuvo por debajo del estipulado.
- De acuerdo con la gráfica de sólidos suspendidos vs caudal se puede observar que la población de biomasa se mantuvo estable y considerando que el OD en el seno de RBCs fue casi nulo (alrededor de 1 mg /L), las reacciones de esta fueron anóxicas, pudiéndose dar a la vez nitrificación y desnitrificación.
- Los resultados de color y turbiedad a la salida del RBCs se incrementaron debido a la biomasa suspendida, la cual puede ser fácilmente removida por un proceso físico-químico, que es lo usual en el tratamiento de aguas blancas.

INTER-AULAS - ACADEMIA QUAE RE-VERUM

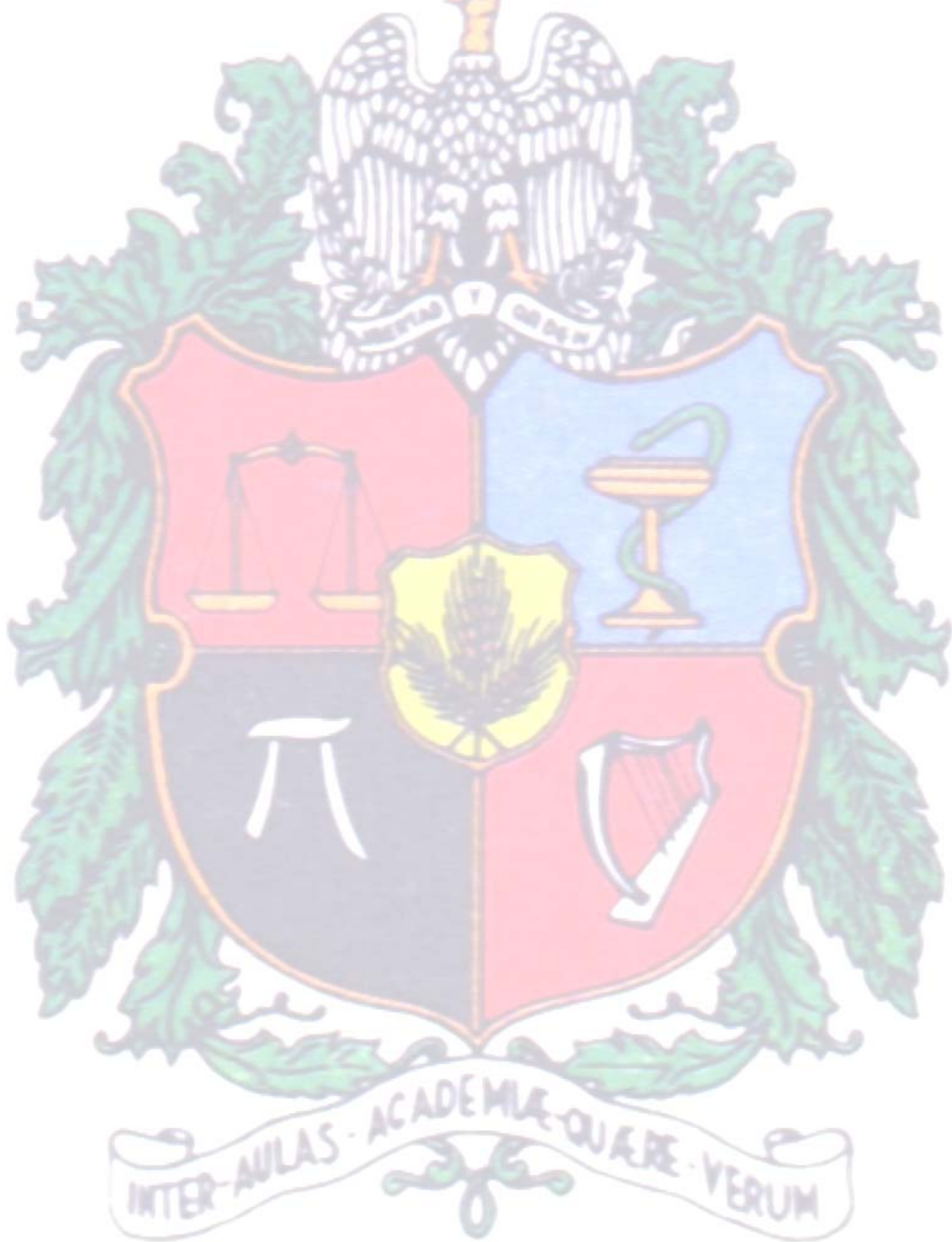
## RECOMENDACIONES

Para el presente trabajo se planteo el estudio a nivel de planta piloto, para obtener información sobre la factibilidad para la remoción de materia orgánica de los lixiviados generados en el relleno sanitario "La Esmeralda" de la empresa metropolitana de aseo EMAS E.S.P. de la ciudad de Manizales; utilizándose un reactor de biodiscos (RBCs). Dado que los resultados fueron satisfactorios, se plantean algunas recomendaciones a nivel de planta real para el diseño propuesto, como son:

1. Considerar la recirculación del efluente del reactor, con el fin de inocular con bacterias y enzimas el afluente, para así poder obtener una mayor  $DBO_5$ .
2. La salida de cada compartimiento no sea por decantación (ósea por rebose), sino por la parte inferior del sistema, para así evitar zonas o espacios muertos dentro del reactor garantizándose así mezcla completa sin modificar el tiempo de retención hidráulico.
3. Ubicar sedimentadotes entre los compartimientos, ya que debido a la alta carga orgánica se genera gran cantidad de lodos.
4. Dotar los RBCs de varios sistemas energéticos diferentes para evitar su interrupción por posible falla de uno de ellos ( cortes eléctricos)



5. Acoplar un filtro percolador al efuente del RBCs con el fin de obtener una mejor remoci3n del Nitr3geno ( nitritos y nitratos) por medio de la reaccione Anoxicas.





## BIBLIOGRAFÍA

BRUCE. E, Ritmann, PERRY L. M<sub>c</sub> Carty. Biotecnología del medio ambiente, principios y aplicaciones. Editorial Mc Graw Hill. Sprint, 2001.

DE ROBERTIS, Biología Celular y Molecular. Editorial El Ateneo, 1981.

GACESA P. Tecnología de las Enzimas. Editorial Acribia S. A. 1990.

GIRALDO G. GLORIA I. Manual de aguas. Universidad Nacional de Colombia. 1995.

HERRERA SEPÚLVEDA, Bibiana Maria, LADINO CASTAÑO, Lina Emperatriz. Mejoramiento del sistema de tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario La Esmeralda. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2001.

LÓPEZ CANO, Lorenza del pilar. Búsqueda y posible solución al problema de los lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 1998.

METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización. Editorial Mc Graw Hill. México, 1996.

RAMALHO, Rubens S. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté S.A. España, 1991

TCHOBANOSGLOUS, George y BURTON, Franklin L. MERCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3° ed.: Editorial Mc Graw Hill./ interamericana de España, 1995.

MORRIS Levin, MICHAEL a. Gealt. Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. Editorial Mc Graw Hill. Mexico.

MARIN A. GORGE E. Diseño y Construcción de un Reactor de biodiscos. Universidad Nacional de Colombia. 1995.

## ANEXO

**Tabla 1. Caracterización corrida N.1.**

Datos Marzo 05 de 2003    Q = 24 L/día												
Muestra	pH	DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendidos			Turbiedad	Color
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3	NTU	NUC
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g		
Entrada	8,15	13,4	6,05	no dato	54,3005	54,3018	no dato	56,128	56,1306	no dato	760	1760
Salida	8,72	17	6	no dato	47,4385	47,4398	no dato	47,8132	47,815	no dato	850	1840
Blanco	***	20,8	7	no dato	***	***	***	***	***	***	***	***

Dilución DQO=5%    Vmuestra DQO=20 ml    Dilución DBO=5%  
Vmuestra Sólidos totales = 25 ml    Vmuestra Sólidos Suspendidos = 25 ml  
Normalidad del FAS = 0,125N    Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 2. Caracterización corrida N.2.**

Datos Marzo 11 de 2003    Q = 24 L/día						
Muestra	pH	DBO5			Turbiedad	Color
		Vfas	ODi	ODf	NTU	NUC
		ml	ml	ml		
Entrada	7,96	13,65	6,5	3,9	790	1640
Salida	8,43	17,1	6,4	4,5	890	1950
Blanco	***	20,9	6,6	5,8	***	***

Dilución DBO=5% y DQO=4%    Vmuestra DQO= 20ml  
Normalidad del FAS = 0,125N  
Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 3. Caracterización corrida N.3.**

Datos Marzo 13 de 2003    Q = 24 L/día												
Muestra	pH	DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendidos			Turbiedad	Color
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3	NTU	NUC
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g		
Entrada	8,06	12,2	6,6	2,8	56,1379	56,4002	56,2485	1,676	1,6802	1,6708	840	1650
Salida	8,64	15,7	6,5	3,8	47,7217	48,019	47,9192	1,6614	1,6698	1,6563	840	1800
Blanco	***	20,8	6,9	5,3	***	***	***	***	***	***	***	***

Dilución DBO=5% y DQO=4%    Vmuestra DQO= 20ml  
Vmuestra Sólidos totales = 25 ml    Vmuestra Sólidos Suspendidos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,125N    Normalidad del Tiosulfato = 0,025N



**Tabla 4. Caracterización corrida N.4.**

Datos Marzo 18 de 2003 Q = 24 L/día										
Muestra	pH	DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendidos		
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g
Entrada	8,14	5	NO	NO	47,377	47,7079	47,5558	47,8332	47,8379	47,833
Salida	8,74	6,5	NO	NO	56,035	56,3	56,227	54,4127	54,4245	54,4147
Blanco	***	10,4	NO	NO	***	***	***	***	***	***
Dilución DBO=5% y DQO=4% Vmuestra DQO= 10ml Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendidos = 10 ml Normalidad del FAS = 0,1214N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N										

**Tabla 5. Caracterización corrida N 5.**

Datos Marzo 20 de 2003 Q = 20 L/día												
Muestra	pH	DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendidos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3		
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g		
Entrada	8,26	17,2	6,6	3,8	47,4347	47,7133	47,5766	49,0358	49,039	49,0355	780	1230
Salida	9	18,7	6,6	5,5	54,3019	54,5009	54,446	47,8336	47,843	47,8345	730	1770
Blanco	***	20,8	6,9	6,1	***	***	***	***	***	***	***	***
Dilución DBO=5% y DQO=4% Vmuestra DQO= 20ml Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendidos = 10 ml Normalidad del FAS = 0,121N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N												

**Tabla 6. Caracterización corrida N 6.**

Datos Marzo 26 de 2003 Q = 24 L/día										
Muestra	pH	DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendidos		
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g
Entrada	8,14	8,1	6,7	4,3	52,0995	52,2046	52,163	54,483	54,4869	54,4846
Salida	8,75	8,8	6,5	4,7	47,43	47,5479	47,5097	43,9031	43,9061	43,9036
Blanco	***	10,4	6,9	6,3	***	***	***	***	***	***
Dilución DBO=5% y DQO=4% Vmuestra DQO= 10ml Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendidos = 10 ml Normalidad del FAS = 0,12N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N										

**Tabla 7. Caracterización corrida N 7.**

Datos Marzo 28 de 2003 Q = 30 L/día											
Muestra	pH	DQO		DBO5 (5%)		Sólidos totales			Sólidos Suspendedos		
		Vfas	Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3
		ml	ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g
Entrada	7,98	7,2	1,35	6,4	4,2	52,0942	52,3556	52,2275	47,8973	47,904	47,8979
Salida	8,52	8,2	1,6	6,5	4,9	47,4329	47,6616	47,5549	43,9017	43,912	43,9036
Blanco	***	10,5	2,15	6,5	6,2	***	***	***	***	***	***

Dilución DBO=5%, DQO=4% y DQOmicro=5% Vmuestra DQO= 10ml Vmuestra DQOmicro=2ml  
Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,12N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 8. Caracterización corrida N 8.**

Datos Abril 01 de 2003 Q = 56 L/día											
Muestra	pH	DQO		DBO5		Sólidos totales			Sólidos Suspendedos		
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3	
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g	
Entrada	7,72	2,2	6,7	4,5	56,0391	56,3381	56,2012	54,4795	54,4955	54,4889	
Salida	8,55	3,7	7	5,3	47,4317	47,6643	47,5835	49,106	49,1172	49,106	
S.filtrada	8,54	3,7	7	5,3	***	***	***	***	***	***	
Blanco	***	4,9	7,4	6,1	***	***	***	***	***	***	

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml  
Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,049N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 9. Caracterización corrida N 9.**

Datos Abril 04 de 2003 Q = 56 L/día													
Muestra	pH	DQO		DBO5		Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3			
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g			
Entrada	7,85	2,2	6,2	2,3	56,0385	56,3122	56,191	47,893	47,9015	47,8963	860	1380	
Salida	8,36	3,05	6,4	3,1	47,3812	47,649	47,5313	47,3064	47,3169	47,3086	980	2810	
S.filtrada	8,36	3,05	6,4	3,2	***	***	***	***	***	***	***	***	
Blanco	***	4,3	7	3,4	***	***	***	***	***	***	***	***	

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml  
Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,054N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 10. Caracterización corrida N 10.**

Datos Abril 08 de 2003 Q = 64 L/día															
Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3					
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	8,05	1,55	6,5	4,35	54,29983	54,5713	54,4391	47,3048	47,7866	47,3056	520	1170			
Sal. Biodis.	***	2,1	6,5	4,95	***	***	***	***	***	***	510	1260			
Sal. Sedim.	8,53	3	6,5	5,1	56,0249	56,2848	56,1485	43,9051	44,4654	43,9069	***	***			
Blanco	***	4,35	6,6	6,35	***	***	***	***	***	***	***	***			
Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml Normalidad del FAS = 0,0505N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N															

**Tabla 11. Caracterización corrida N 11.**

Datos Abril 09 de 2003 Q = 96 L/día															
Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3					
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	7,9	2,6	6,6	4,6	47,4285	47,7205	47,541	42,4285	42,7276	42,4561	260	1060			
Sal. Biodis.	8,2	3,25	6,6	5,1	***	***	***	***	***	***	330	1150			
Sal. Sedim.	8,5	4	6,5	5,5	52,0826	52,3351	52,1935	49,1088	49,3518	49,1131	***	***			
Blanco	***	4,4	6,8	6,5	***	***	***	***	***	***	***	***			
Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml Dilución de Sal Biodiscos = 4% Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml Normalidad del FAS = 0,053N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N															

**Tabla 12. Caracterización corrida N 12.**

Datos Abril 11 de 2003 Q = 80 L/día															
Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3					
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	7,87	3,75	6,5	4,35	47,4273	47,5388	47,486	47,894	47,9459	47,8955	390	460			
Sal. Biodis.	***	4,2	6,5	4,95	***	***	***	***	***	***	450	680			
Sal. Sedim.	8,26	4,35	6,4	5,1	47,3678	47,4777	47,423	49,109	49,1174	49,1092	***	***			
Blanco	***	4,5	6,4	6,35	***	***	***	***	***	***	***	***			
Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml Vmuestra Sólidos totales = 25 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml Normalidad del FAS = 0,0481N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N															



**Tabla 13. Caracterización corrida N 13.**

Datos Abril 14 de 2003 Q = 98 L/día															
Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3					
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	7,91	4,1	6,7	5,6	47,4323	47,523	47,4874	42,4738	42,4785	42,477	230	660			
Sal. Biodis.	***	4,5	6,7	6,3	***	***	***	***	***	***	220	640			
Sal. Sedim.	8,38	4,5	6,7	6,3	54,305	54,392	54,3632	49,0986	49,102	49,1009	***	***			
Blanco	***	5,2	6,9	6,35	***	***	***	***	***	***	***	***			

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml  
Vmuestra Sólidos totales = 15 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,05N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 14. Caracterización corrida N 14.**

Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3					
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	7,89	4,2	6,7	5,45	47,3728	47,4676	47,4268	47,3103	47,3155	47,3142	270	890			
Sal. Biodis.	***	4,7	6,7	5,9	***	***	***	***	***	***	250	740			
Sal. Sedim.	8,52	4,7	6,7	5,9	52,0794	52,1658	52,1298	43,9016	43,9072	43,9046	***	***			
Blanco	***	5,2	6,9	6,45	***	***	***	***	***	***	***	***			

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml  
Vmuestra Sólidos totales = 15 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,05N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 15. Caracterización corrida N 15.**

Datos Abril 16 de 2003 Q = 98 L/día													
Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos		
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3			
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g			
Entrada	7,89	4,1	6,5	4,6	47,428	47,5062	47,48	47,315	47,3277	47,3278			
Sal. Biodis.	***	4,6	6,5	5,1	***	***	***	***	***	***			
Sal. Sedim.	8,52	4,7	6,5	5,1	52,074	52,139	52,1199	43,8958	43,9042	43,9058			
Blanco	***	5,3	6,8	6,45	***	***	***	***	***	***			

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml  
Vmuestra Sólidos totales = 15 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,049N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 16. Caracterización corrida N 16.**

Datos Abril 22 de 2003 Q = 98 L/día															
Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3					
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	7,57	3,75	6,7	3,4	47,3737	47,499	47,4471	49,0925	49,0998	49,0956	250	350			
Compart. 1	***	4,1	6,6	3,4	***	***	***	***	***	***	***	***			
Compart. 2	***	4,2	6,6	4,8	***	***	***	***	***	***	***	***			
Compart. 3	***	4,6	6,6	5,3	***	***	***	***	***	***	***	***			
Sal. Biodis.	***	4,65	6,7	5,5	***	***	***	***	***	***	250	490			
Sal. Sedim.	8,31	4,7	6,6	5,7	47,431	47,5331	47,4973	42,4709	42,4763	42,4714	***	***			
Blanco	***	5,15	6,7	5,8	***	***	***	***	***	***	***	***			

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml Vmuestra DBO=1,4ml  
Vmuestra Sólidos totales = 20 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,045N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 17. Caracterización corrida N 17.**

Datos Abril 23 de 2003 Q = 98 L/día															
Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad NTU	Color NUC
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3					
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	7,61	3,7	6,6	3,1	47,7238	47,8508	47,7939	43,8997	43,9058	43,9017	240	700			
Compart. 1	***	4,05	6,6	3,45	***	***	***	***	***	***	***	***			
Compart. 2	***	4,1	6,6	4,15	***	***	***	***	***	***	***	***			
Compart. 3	***	4,35	6,6	4,5	***	***	***	***	***	***	***	***			
Sal. Biodis.	***	4,45	6,7	5	***	***	***	***	***	***	250	270			
Sal. Sedim.	8,41	4,45	6,7	5,25	56,008	56,1194	56,0696	47,3087	47,3134	47,3091	***	***			
Blanco	***	5,15	6,7	5,8	***	***	***	***	***	***	***	***			

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml Vmuestra DBO=1,4ml  
Vmuestra Sólidos totales = 20 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,045N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 18. Caracterización corrida N 18.**

Datos Mayo 01 de 2003 Q = 98 L/día						
Muestra	pH	DQO	DBO5		Turbiedad	Color
			Vfas	ODi	ODf	NTU
		ml	ml	ml		
Entrada	7,64	1,5	6,7	3,4	620	1270
Sal. Biodis.	***	1,95	6,6	5,5	630	1470
Sal. Sedim.	7,99	2,2	6,6	5,6	***	***
Blanco	***	3,15	6,95	***	***	***
Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml Vmuestra DBO=1,4ml Normalidad del FAS = 0,0767N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N						

**Tabla 19. Caracterización corrida N 19.**

Datos Mayo 02 de 2003 Q = 98 L/día						
Muestra	pH	DQO	DBO5		Turbiedad	Color
			Vfas	ODi	ODf	NTU
		ml	ml	ml		
Entrada	7,85	1,75	6,75	3,35	350	1220
Sal. Biodis.	***	2	6,75	5,45	410	930
Sal. Sedim.	8,27	2	6,75	5,5	***	***
Blanco	***	3,15	6,95	***	***	***
Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO= 2ml Vmuestra DBO=1,4ml Normalidad del FAS = 0,0767N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N						



**Tabla 20. Caracterización corrida N 20.**

Datos Mayo 05 de 2003 Q = 98 L/día															
Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad	Color
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3	NTU	NUC			
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	7,98	1,85	6,3	3,3	47,1418	47,2784	47,213	43,9052	43,9125	43,906	640	1100			
Sal. Biodis.	***	2,7	6,4	4,5	***	***	***	***	***	***	700	1300			
Sal. Sedim.	8,41	2,85	6,55	4,9	47,4326	47,5565	47,5	42,474	42,4756	42,4745	***	***			
Blanco	***	3,9	6,6	7,05	***	***	***	***	***	***	***	***			

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO=2ml Vmuestra DBO=1,4ml  
Vmuestra Sólidos totales = 15 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,05714N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 21. Caracterización corrida N 21**

Muestra	pH	DQO			DBO5			Sólidos totales			Sólidos Suspendedos			Turbiedad	Color
		Vfas	ODi	ODf	w1	w2	w3	w1	w2	w3	NTU	NUC			
		ml	ml	ml	g	g	g	g	g	g					
Entrada	7,85	3,6	7,6	5,3	47,3459	47,5434	47,4536	47,3081	47,3152	47,3152	380	1150			
Sal. Biodis.	***	3,75	7,5	6,3	***	***	***	***	***	***	450	1360			
Sal. Sedim.	8,56	3,75	7,6	6,4	52,059	52,2407	52,2407	56,1522	56,1613	56,1525	***	***			
Blanco	***	4,55	7,5	7	***	***	***	***	***	***	***	***			

Dilución DBO y DQO=5% Vmuestra DQO=2ml Vmuestra DBO=1,4ml  
Vmuestra Sólidos totales = 15 ml Vmuestra Sólidos Suspendedos = 10 ml  
Normalidad del FAS = 0,05714N Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 22. Caracterización corrida N 22**

Datos Mayo 23 de 2003 Q = 50 L/día								
Muestra	pH	DQO			DBO5		Turbiedad	Color
		Vfas	ODi	ODf	NTU		NUC	
		ml	ml	ml				
Entrada	7,78	1,6	6,9	4,5	460		1120	
Sal. Biodis.	8,29	2	6,7	6,1	590		1180	
Blanco	***	3,3	6,9	6,7	***		***	

Dilución DBO y DQO=5%  
Vmuestra DQO= 2ml  
Normalidad del FAS = 0,0714N  
Normalidad del Tiosulfato = 0,025N

**Tabla 23. Caracterización corrida N 23**

<i>Datos Mayo 25 de 2003 Q = 50 L/día</i>				
<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>DQO</i>	<i>DBO5</i>	
		<i>Vfas</i>	<i>ODi</i>	<i>ODf</i>
		<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>
<i>Entrada</i>	8,02	1,7	6,9	5,1
<i>Sal. Biodis.</i>	8,65	1,9	6,9	5,9
<i>Blanco</i>	***	3,3	6,9	6,7
<i>Dilución DBO y DQO=5%</i>				
<i>Vmuestra DQO= 2ml</i>				
<i>Normalidad del FAS = 0,0714N</i>				
<i>Normalidad del Tiosulfato = 0,025N</i>				

**Tabla 24. Caracterización corrida N 24**

<i>Datos Mayo 27 de 2003 Q = 50 L/día</i>				
<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>DQO</i>	<i>DBO5</i>	
		<i>Vfas</i>	<i>ODi</i>	<i>ODf</i>
		<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>
<i>Entrada</i>	8,23	1,5	6,9	5
<i>Sal. Biodis.</i>	8,75	2	6,9	6,2
<i>Blanco</i>	***	3,3	6,9	6,7
<i>Dilución DBO y DQO=5%</i>				
<i>Vmuestra DQO= 2ml</i>				
<i>Normalidad del FAS = 0,0714N</i>				
<i>Normalidad del Tiosulfato = 0,025N</i>				

**Tabla 25. Caracterización corrida N 25**

<i>Datos Mayo 28 de 2003 Q = 50 L/día</i>				
<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>DQO</i>	<i>DBO5</i>	
		<i>Vfas</i>	<i>ODi</i>	<i>ODf</i>
		<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>
<i>Entrada</i>	7,99	1,6	6,9	4,5
<i>Sal. Biodis.</i>	8,65	2	6,9	6
<i>Blanco</i>	***	3,3	6,9	6,7
<i>Dilución DBO y DQO=5%</i>				
<i>Vmuestra DQO= 2ml</i>				
<i>Normalidad del FAS = 0,0714N</i>				
<i>Normalidad del Tiosulfato = 0,025N</i>				

**Tabla 26. Caracterización corrida N 26**

<i>Datos Mayo 29 de 2003 Q = 70 L/día</i>				
<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>DQO</i>	<i>DBO5</i>	
			<i>V<sub>fas</sub></i>	<i>ODi</i>
		<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>
<i>Entrada</i>	8,12	4,2	7	4,3
<i>Sal. Biodis.</i>	8,74	5,1	7	6,2
<i>Blanco</i>	***	6,5	7	6,7
<i>Dilución DBO y DQO=5%</i>				
<i>V<sub>muestra DQO</sub>= 2ml</i>				
<i>Normalidad del FAS = 0,0625N</i>				

**Tabla 27. Caracterización corrida N 27**

<i>Datos Mayo 30 de 2003 Q = 70 L/día</i>				
<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>DQO</i>	<i>DBO5</i>	
			<i>V<sub>fas</sub></i>	<i>ODi</i>
		<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>
<i>Entrada</i>	8,15	4,6	7	4,7
<i>Sal. Biodis.</i>	8,84	5	7	5,6
<i>Blanco</i>	***	6,5	7	6,7
<i>Dilución DBO y DQO=5%</i>				
<i>V<sub>muestra DQO</sub>= 2ml</i>				
<i>Normalidad del FAS = 0,0625N</i>				
<i>Normalidad del Tiosulfato = 0,025N</i>				