

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ARRANQUE DE UN REACTOR U.A.S.B. PILOTO
PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

FRANCISCO JAVIER CAICEDO MESSA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL – ÁREA SANITARIA
MANIZALES
2006**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ARRANQUE DE UN REACTOR U.A.S.B. PILOTO
PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

FRANCISCO JAVIER CAICEDO MESSA

**Documento presentado como requisito para optar el título de Especialista en
Ingeniería Ambiental – Área Sanitaria**

Director:

JORGE ELIECER MARÍN ARIAS

Ingeniero Químico, M.Sc.

Especialista en Ingeniería Ambiental y Sanitaria

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL – ÁREA SANITARIA
MANIZALES
2006**

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. LIXIVIADOS	1
1.2. DIGESTIÓN ANAEROBIA	2
1.3. INHIBICION DEL PROCESO ANAEROBIO	7
1.4. REACTORES ANAEROBIOS U. A. S. B.	8
1.4.1 FUNDAMENTOS DEL PROCESO UASB	12
1.4.2 PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO EN UN REACTOR UASB	13
1.4.2.1. Temperatura	13
1.4.2.2. pH	13
1.4.2.3. DBO5	14
1.4.2.4. DQO	14
1.4.2.5. Ácidos Grasos Volátiles (AGV)	14
1.4.2.6. Alcalinidad	15
1.4.2.7 Sólidos	15
2. ANTECEDENTES	17
2.1. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO CURVA DE RODAS EN MEDELLIN	17
2.2. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE MONTEVIDEO	17
2.3. ESTUDIOS DE TRATABILIDAD PARA EL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA	19
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR PILOTO	20
3.1. FORMA DEL REACTOR	21

3.2. CÁLCULO BASADO EN LA CARGA ORGÁNICA Y EN EL CRITERIO DE VELOCIDAD DE FLUJO	21
3.3. SEPARADOR GAS – LÍQUIDO – SÓLIDO – (GLS)	23
3.3.1. OBJETIVOS DEL SEPARADOR GLS	23
3.4. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	27
3.5. MONITOREO DEL REACTOR	28
4. ARRANQUE DEL REACTOR UASB PILOTO	30
4.1 SEGUIMIENTO DE LAS VARIABLES DE ARRANQUE DEL REACTOR UASB	30
4.1.1. CAUDAL, TIEMPO DE RETENCIÓN Y CARGA ORGÁNICA	31
4.1.2. COMPORTAMIENTO DE DQO Y DBO	33
4.1.3. COMPORTAMIENTO DE LA RELACIÓN AGV/ALCALINIDAD	34
4.1.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	35
5. CONCLUSIONES	37
6. RECOMENDACIONES	39
7. BIBLIOGRAFÍA	40

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Flujo de sustrato como materia orgánica a través de una comunidad biológica anaerobia.	6
Figura 2. Esquema general de un reactor UASB	10
Figura 3. Criterios de diseño de la campana y deflectores	26
Figura 4. Campana Separadora del reactor piloto	26
Figura 5. Bomba para Alimentación	27
Figura 6. Tubería de alimentación	27
Figura 7. Puntos de Muestreo	28
Figura 8. Reactor UASB piloto	29
Figura 9. Cubierta de espuma del reactor	29
Figura 10. Variación de caudal del sistema	31
Figura 11. Tiempo de residencia hidráulico	31
Figura 12. Carga contaminante alimentada	32
Figura 13. TRH y Remoción del sistema	32
Figura 14. DQO y Remoción del sistema	33
Figura 15. DBO y Remoción del reactor	34
Figura 16. Relación AGV/ALK del sistema	35
Figura 17. Perfil de sólidos en el sistema	36

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio para el tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario La Esmeralda de la ciudad de Manizales, mediante un reactor anaerobio U.A.S.B.

Inicialmente se realizó el diseño, construcción y montaje de un reactor U.A.S.B. piloto con un volumen efectivo de 8 litros. Después de adecuar todos los accesorios necesarios para el funcionamiento del reactor se realizó la inoculación y arranque del sistema con 5 litros de lodo anaerobio proveniente de un reactor UASB del Relleno Sanitario La Esmeralda, con un contenido de 43000 mg/l de SSV.

Durante el arranque se disminuyó lentamente el TRH (de 0.8 d a 0.4 d) consiguiendo valores de remoción después de haber arrancado el sistema para DQO de 82% y para la DBO5 de 92%. La carga orgánica máxima con la que trabajó el sistema fue de 14 kg DQO/m³ d.

ABSTRACT

This work is a research with the purpose of studying the treatment for leached of the landfill La Esmeralda from Manizales, by an anaerobic reactor U.A.S.B.

First make the design, build and install of a pilot U.A.S.B. reactor with an effective volume of 8 liters. After adapt all accessories for get the best performance of reactor, make the inoculation and starting of the system with 5 liters of anaerobic sludge from UASB reactor installed in the landfill La Esmeralda, it have 43000 mg/l of SSV.

It was carried out the starting diminishing the TRH (from 0.8 d to 0.4 d) obtaining removal values after have started system for DQO 82% and 92% for DBO. The maximum organic load of system work was 14 kg DQO/m³ d.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad debido a la crisis ambiental que vivimos es de gran importancia la búsqueda de nuevas alternativas para el tratamiento de aguas residuales, así como la investigación que permita mejorar los procesos de tratamiento ya aplicados. Bajo este parámetro se desarrolla el presente trabajo como la etapa inicial del proyecto “Implementación de un Sistema de Control No Lineal de Temperatura para un reactor piloto UASB de tratamiento de Lixiviados” a cargo del Ingeniero Rafael Muñoz Tamayo estudiante de la Maestría en Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

Basados en las investigaciones realizadas por parte de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales en conjunto con la Empresa Metropolitana de Aseo E.M.A.S S.A. E.S.P. para encontrar y desarrollar una tecnología adecuada en el tratamiento de los lixiviados producidos por el relleno sanitario La Esmeralda, se tomó como objeto de estudio para este trabajo un sistema anaerobio aplicado al tratamiento de lixiviados. Para este fin se realizaron el diseño, construcción e instalación de un reactor U.A.S.B. (reactor de manto de lodos de flujo ascendente) piloto, además de un seguimiento a su comportamiento durante la fase de arranque.

Para el desarrollo de este proyecto se contó con el apoyo económico del Departamento de Investigación de Manizales DIMA y con la colaboración del ingeniero Rafael Muñoz Tamayo, quien fue parte activa durante todo el desarrollo del trabajo. Además información recolectada será el punto de partida para continuar con el proyecto de investigación desarrollado por el Ingeniero Rafael Muñoz Tamayo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. LIXIVIADOS

Los lixiviados se originan por la circulación de agua entre la basura, la cual a su paso va disolviendo los elementos presentes en los residuos. El resultado es un líquido altamente agresivo al ambiente principalmente por sus elevadas cargas orgánicas representadas en parámetros de DQO en un rango de 10.000 a 30.000 mg/l, valor que depende del tipo de basura depositada y de la capacidad del relleno [1]. Por esta razón los lixiviados representan el agente contaminante más significativo de un relleno sanitario. Adicionalmente estos líquidos no se quedan confinados en el relleno sanitario, sino que por las mismas condiciones de diseño del relleno, migran fuera del mismo pudiendo contaminar el suelo y las aguas superficiales y subterráneas que se encuentran a su paso [2].

Dentro de la composición química de los lixiviados suelen encontrarse concentraciones elevadas de productos tóxicos como metales pesados, compuestos organoclorados, entre otros. Todos estos contenidos se derivan de los residuos que originalmente los poseían, los cuales se hallan dispuestos y compactados en el lecho de basuras. Los lixiviados varían ampliamente en su composición, dependiendo de la edad del relleno, y el tipo de residuos depositados. En la Tabla 1 se ilustran los rangos típicos de concentraciones de los constituyentes.

La idea de buscar un método de tratamiento de los lixiviados y su posible aplicación, surge como respuesta a la inquietud de solucionar el impacto contaminante que poseen los lixiviados, cuyo principal agente de polución corresponde a las elevadas cantidades de carga orgánica.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FISICO – QUÍMICAS TÍPICAS DE UN LIXIVIADO

CARACTERÍSTICAS FISICO – QUÍMICAS TÍPICAS DE UN LIXIVIADO			
EDAD DEL RELLENO	NUEVO (< 2 AÑOS)	NUEVO (< 2 AÑOS)	> 10 AÑOS
CONSTITUYENTES	RANGO	VALOR TÍPICO	RANGO TÍPICO
DQO	3000 - 60000	18000	100 – 500
DBO ₅	2000 - 30000	10000	100 – 200
COT	1500 - 20000	6000	80 – 160
SST	200 - 2500	500	100 – 400
Nitrógeno Total	20 - 1500	400	100 – 200
Fósforo Total	5 - 100	30	5 – 10
Alcalinidad CaCO ₃	1000 - 10000	3000	200 – 1000
Sales Solubles	200 - 4000	800	100 – 500
Hierro	50 - 1200	60	20 – 200
Plomo	1 - 10	2	0.01 – 0.5
Zinc	25 - 250	50	0.1 – 1
pH	5 - 8	6	6.6 – 7.5

1.2. DIGESTIÓN ANAEROBIA

El proceso de digestión anaerobia consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos en ausencia de oxígeno molecular. En ella se obtiene como subproducto el denominado biogás que se compone de un 70% de metano y un 30% de una mezcla de dióxido de carbono y otros compuestos como nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, los cuales son responsables de los malos olores generados durante la digestión [3].

Dicho proceso se caracteriza por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de numerosas especies de microorganismos, que son los intermediarios necesarios para transformar la materia orgánica en sustratos simples fermentables por las bacterias metanogénicas.

En general, las bacterias son incapaces de alimentarse de material complejo por lo que las macromoléculas (proteínas, carbohidratos y lípidos) son hidrolizados previamente por enzimas extracelulares a compuestos más simples (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos) [4]. Esta hidrólisis ayuda a que el material particulado y los polímeros orgánicos que componen las aguas residuales puedan ser asimilados por las bacterias e incorporados a sus procesos metabólicos, así:

- ❖ Proteínas a aminoácidos
- ❖ Carbohidratos a azúcares
- ❖ Lípidos a ácidos grasos y alcoholes

El proceso de fraccionamiento de la materia orgánica absorbe agua, por ello se denomina hidrólisis. El proceso ocurre en el exterior de las bacterias debido a la acción de catalizadores biológicos llamados exoenzimas, producidas por las bacterias acidogénicas o fermentativas. Dependiendo de la presencia de sustratos solubles o complejos en el agua residual, la hidrólisis puede ser rápida o muy lenta.

Después de obtenidas las moléculas simples en la hidrólisis, éstas pueden ser absorbidas a través de la pared celular de las bacterias y son descompuestas internamente mediante los procesos metabólicos. El proceso es llevado a cabo por las bacterias acidogénicas o fermentativas.

Como producto final del proceso de acidogénesis o fermentación está el ácido acético, o en su defecto otros ácidos grasos volátiles (AGV) como el propiónico, el butírico y el valérico. Dependiendo de la concentración de hidrógeno: si la presión parcial de hidrógeno es menor que 10^{-4} el producto final será ácido acético, de lo contrario, se obtienen los otros ácidos grasos. Además de los ácidos, la acidogénesis produce hidrógeno como un subproducto y su concentración se

convierte en un elemento regulador del metabolismo del proceso, debido a que el ácido acético y el hidrógeno constituyen las vías de formación del metano.

El paso siguiente es la acetogénesis acidoclástica y consiste en la generación de ácido acético a partir de los AGV formados en la acetogénesis. En esta fase, un grupo de bacterias conocidas como “bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno” (OHPA), convierten los productos de la fermentación en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno. Estos organismos utilizan los ácidos grasos o alcoholes como fuente energética.

En reactores anaerobios, especialmente con la presencia de sulfatos, puede presentarse un grupo de bacterias capaces de reducir los sulfatos a sulfuros. Estas bacterias son conocidas como “sulfato – reductoras” (BSR), las cuales utilizan el sulfato como aceptor final de electrones.

Los sulfuros son muy solubles en agua pero el ácido sulfhídrico se volatiliza. Sin embargo, a pH neutro puede ocurrir algo de volatilización del sulfhídrico, ya que el equilibrio se desplazará hacia este último. En el tratamiento de aguas que contienen SO_4^- y SO_3^- ocurre la siguiente reacción bioquímica:



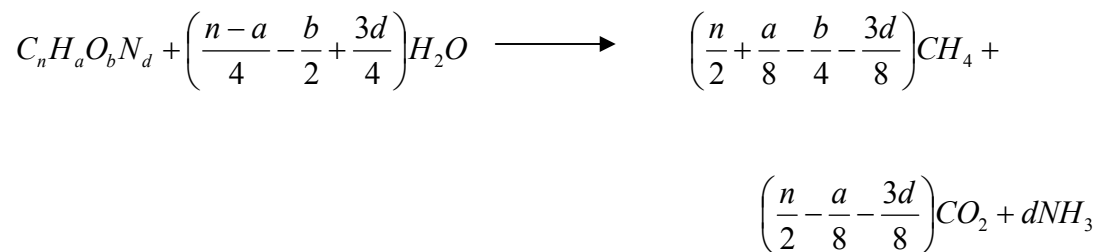
Esta reducción de sulfato es realizada por organismos estrictamente anaerobios. Estos organismos son solamente capaces de utilizar un número limitado de electrones donados, particularmente por el hidrógeno. El proceso de sulfato – reducción es importante en por lo menos tres (3) aspectos:

- ✓ La producción de metano por cantidad de DQO removido disminuye.
- ✓ La reducción de sulfatos dará como resultado la formación de ácido sulfhídrico, compuesto bastante tóxico para la metanogénesis.

- ✓ La formación de sulfuros puede causar considerables molestias en el ambiente.

La última etapa de la digestión anaerobia se lleva a cabo por la actividad de un grupo de bacterias conocido como metanogénicas. Este proceso se conoce como metanogénesis hidrogenolítica y se basa en la reducción de dióxido de carbono a metano, en el que el hidrógeno es fundamental, aunque el formiato, el CO y aún el hierro elemental pueden ser donadores de electrones en la metanogénesis [4, 5].

Si la composición para el sustrato es conocida y si se convierte completamente a metano y dióxido de carbono (y amoníaco en caso de sustratos con contenidos de nitrógeno), el metano teóricamente producido puede ser calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:



Esta ecuación es válida para sustratos orgánicos biodegradables. Generalmente, el biogás producido en una digestión anaerobia contiene muy poco dióxido de carbono, y se puede calcular en base a la ecuación anterior. La razón radica en la significativa solubilidad del CO₂ en agua [6].

Las condiciones óptimas para un proceso anaerobio son:

- ✓ Nutrientes suficientes.
- ✓ pH entre 6.5 y 7.6, se deben prevenir los pH menores a 6.2, valor en que no trabajan las bacterias metanogénicas.
- ✓ Temperatura en el intervalo mesofílico 30-38°C ó en el intervalo termofílico 50-60°C.

- ✓ Ausencia de Oxígeno.
- ✓ Ausencia de sustancias tóxicas, tales como metales pesados, sulfuros.

Un esquema, el cual resume lo mencionado anteriormente se muestra a continuación:

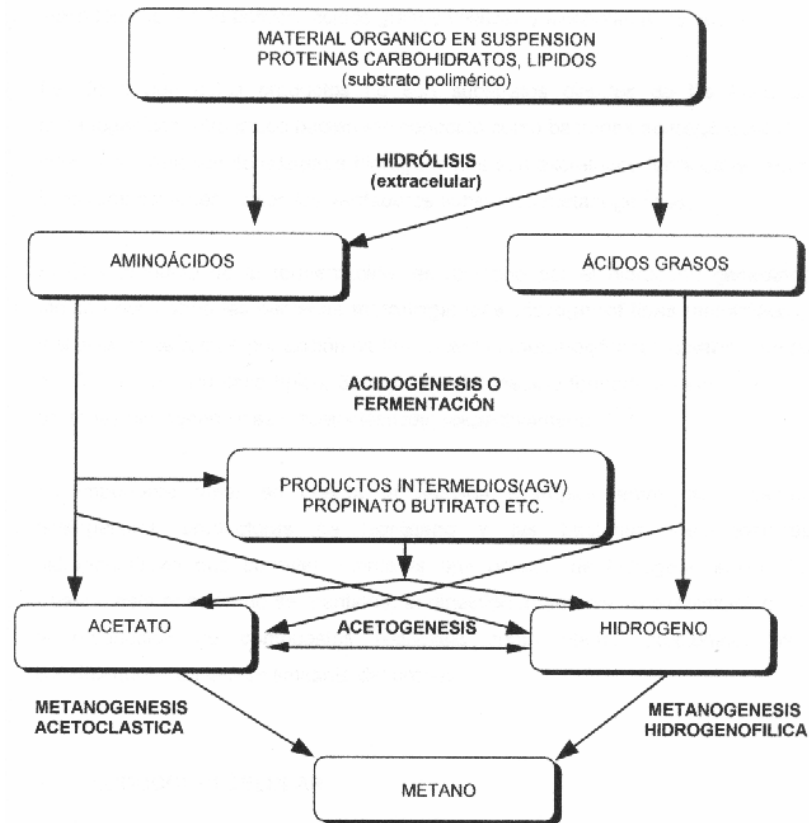


Figura 1. Flujo de sustrato como materia orgánica a través de una comunidad biológica anaerobia.

Una condición que disminuye la eficiencia de remoción de DBO en un proceso anaerobio es la presencia de reacciones que compiten con la reacción metanogénica, tal como la reducción de sulfatos a sulfuros por las bacterias reductoras de sulfato, en ésta la DBO no es removida puesto que solamente se hace un cambio de materia orgánica a sulfuros.

1.3. INHIBICION DEL PROCESO ANAEROBIO

El proceso de la digestión anaerobia no es ajeno al ataque de numerosos compuestos que de una forma u otra, inciden de manera negativa en el proceso. Es por consiguiente un requisito, al trabajar con un proceso anaerobio, poder identificar la inhibición de la metanogénesis en una fase temprana para poder prevenir el fracaso del sistema. Los parámetros comúnmente usados para determinar los indicadores de inhibición son:

- ✓ Reducción en la producción de Metano.
- ✓ Incremento en la concentración de AGV.
- ✓ Fallas en la Remoción de DQO.
- ✓ Problemas con el pH.
- ✓ Pobre estabilidad al someterlo a sobrecargas.
- ✓ Respuesta lenta a condiciones de parada y arranque del sistema.

Existen sustancias que en cualquier concentración son inhibitorias de la metanogénesis como hidrocarburos clorados, cianuros, detergentes, antibióticos, formaldehídos y ácidos como el fluoracético.

Los efectos de algunos cationes, como Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio, en la degradación anaerobia son de gran importancia en el arranque de un reactor anaerobio, al igual que los efectos producidos por el ácido sulfhídrico a 30°C. Investigaciones realizadas indican que la producción de gas no es una función lineal de la concentración de ácido sulfhídrico y que a concentraciones mayores de 200 mg/l producen severos efectos de inhibición y la producción de gas se detiene por completo. El factor más importante en la inhibición de la metanogénesis por azufre es la habilidad de las bacterias sulfato - reductoras por competir con las bacterias metanogénicas por el hidrógeno libre y otros donadores de electrones tales como el metanol, acetato y propionato.

La toxicidad de detergentes es importante ya que estos compuestos estarán ocasionalmente presentes en los lixiviados, debido a los residuos de empaques que se encuentran en el relleno. Los detergentes aniónicos y catiónicos causan una inhibición metanogénica del 50% a una concentración de 50 y 20 mg/L respectivamente.

1.4. REACTORES ANAEROBIOS U. A. S. B.

La abreviación U. A. S. B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blanquet o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

El primer trabajo publicado de un reactor de lecho suspendido data del año 1910 y se le denominó "tanque biológico", con tiempos hidráulicos de retención de 8,5 horas. Posteriormente, un nuevo invento se llevó a cabo en 1957 que consistió en un lecho suspendido con separador interno sólido-líquido, seguido de un filtro anaerobio. El reactor UASB, fue desarrollado en Holanda por Lettinga y sus colaboradores en los años 70 [7]. El diseño de un reactor UASB consiste en una zona de reacción en la parte inferior, en la que se acumula la biomasa, la de mejor sedimentabilidad en el fondo y encima los lodos más ligeros.

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional. Una de las ventajas del tratamiento anaeróbico sobre el

tratamiento aeróbico es la producción de gas metano como fuente energética y la baja producción de lodo biológico.

El tratamiento de aguas residuales con reactores tipo U. A. S. B. es el más difundido en América Latina desde 1988. Estos reactores reemplazaron de cierta forma en las plantas de tratamiento aerobio a los sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, biodigestores para el tratamiento de lodos y gran parte de los sistemas de lodos activados, pues logran eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO en función de la concentración inicial del agua residual. Los U. A. S. B. funcionan como tratamiento primario, tratamiento secundario, pero no llegan a eficiencias de remoción superiores al 82%. Para lograrlo, deben ser complementados por sistemas aerobios tradicionales como lodos activados, filtros percoladores o lagunas.

El reactor UASB está siendo experimentado con éxito en el tratamiento de aguas residuales muy diversas de procesos de la industria de alimentos, industriales, urbanas y lixiviados, aunque inicialmente se desarrolló para aguas residuales de tipos principalmente solubles y de concentración media. El tratamiento anaerobio se recomienda para el lixiviado con una relación de DBO/DQO entre 0,7 y 0,3 (residuos parcialmente estabilizados) [8].

El afluente es alimentado por el fondo del reactor, donde se pone en contacto con el lodo; la degradación anaerobia de los sustratos orgánicos ocurre en el lecho del lodo, y allí se produce el biogás, o sea, tanto la acidificación como la metanogénesis ocurren en el mismo reactor.

El flujo combinado ascendente de las aguas residuales, puede hacer que algunos de los sólidos del lodo lleguen a la parte superior del reactor, donde un separador gas-sólido-líquido, impide la salida de los sólidos del reactor separándolos del gas producido y del efluente líquido. El biogás es captado bajo una campana y conducido hacia la superficie del reactor. Algunos sólidos son arrastrados con el

agua hacia el sedimentador, situado encima de la campana de gas, donde los sólidos sedimentan y retornan al manto de lodos, el efluente cae a un canal situado en la parte superior del reactor, donde es descargado [7]. Las grandes concentraciones de biomasa con elevada actividad que se consiguen, permiten el funcionamiento a alta carga orgánica con buenas eficacias de eliminación.

La biomasa activa puede estar en forma de gránulos compactos o en forma de lodos floculentos con buena sedimentabilidad lo cual convierte en su característica principal la retención de la biomasa sin necesidad de soporte [9].

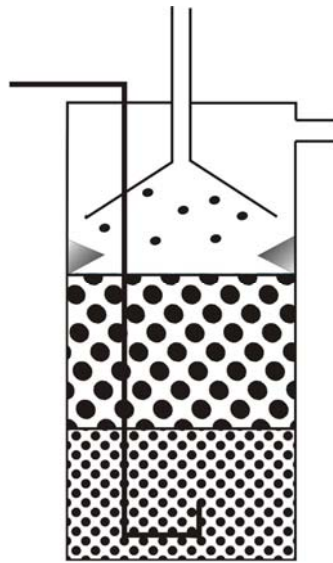


Figura 2. Esquema general de un reactor UASB [7].

Otras características son:

- ❖ Mayor superficie para la adhesión de microorganismos.
- ❖ Mayor concentración de bacterias que en otros sistemas, lo cual permite operar con velocidades de carga orgánica más elevadas.
- ❖ Minimización de problemas de colmatación por sólidos.
- ❖ Elevada velocidad de transferencia de materia, que facilita el tratamiento de aguas con un alto contenido de materia orgánica.

- ❖ Pérdida de presión en el lecho moderada.
- ❖ Concentración de lodos volátiles en la fuente moderada.

VENTAJAS:

- ❖ Baja producción de lodos (10% en relación al tratamiento aerobio).
- ❖ Bajos requerimientos nutricionales.
- ❖ El proceso puede manejarse con altas cargas intermitentes.
- ❖ Los lodos se conservan (sin alimentación) por largos períodos de tiempo.
- ❖ Producción de metano aprovechable.
- ❖ Bajos costos de operación al no requerir oxígeno.
- ❖ Identificación y medición de productos intermedios que proporcionan parámetros de control adicionales.
- ❖ Costo de inversión bajo.
- ❖ La fermentación ácida y metánica, así como la sedimentación tienen lugar en el mismo tanque, por lo cual las plantas son muy compactas.
- ❖ Como no hay relleno, se reduce la posibilidad de cortos circuitos, obstrucciones y puntos muertos.
- ❖ El consumo de potencia es bajo, puesto que el sistema no requiere ninguna agitación mecánica.
- ❖ La retención de biomasa es muy buena y por eso no es necesario reciclar el lodo.

DESVENTAJAS:

- ❖ Las bacterias anaerobias (particularmente las metanogénicas) se inhiben por un gran número de compuestos.
- ❖ El arranque del proceso es lento.
- ❖ Su aplicación debe ser monitoreada.
- ❖ Puede requerir un pulimiento posterior de su efluente.
- ❖ Generación de malos olores si no es eficazmente controlado.

1.4.1 FUNDAMENTOS DEL PROCESO UASB

El desarrollo de tecnologías anaerobias para el tratamiento de fangos y residuos de alto contenido de materia orgánica se ha incrementado en los últimos 10 años. En condiciones anaerobias suelen ocurrir procesos como la desnitrificación, reducción de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica. La conversión de la materia presente en el agua residual en metano es realizada por una comunidad microbiológica heterogénea compuesta por dos bacterias: **No Metanogénicas y Metanogénicas.**

La relación simbiótica que debe mantener el grupo de bacterias conserva una asociación sintrófica ya que las bacterias acetogénicas conocidas como bacterias productoras obligadas de Hidrógeno producen Acetato e hidrógeno, el cual es utilizado por las bacterias metanogénicas y hidrogenofílicas.

Los métodos de tratamiento anaerobio se han desarrollado en dos líneas.

1. Bajas tasas de aplicación (Digestores de Biogás, Tanques Sépticos, Lagunas Anaerobias).
2. Altas tasas de Carga Orgánica (Reactores con Crecimiento Celular en Suspensión, Reactores con Biopelícula Fija).

El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de Biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH_4 y CO_2 .

1.4.2. PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO EN UN REACTOR UASB [10]

La operación del reactor está basada en el monitoreo de varios parámetros. Estos parámetros están relacionados ya sea con el agua residual, el lodo, el reactor, el contacto del agua residual con el lodo y la forma como esté distribuido en el interior del reactor. En esta parte se discutirán los parámetros más importantes los cuales son necesarios para la operación del sistema UASB.

1.4.2.1. Temperatura

La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15°C ya que la depuración se debe fundamentalmente a la sedimentación, mientras que por encima de 15 °C la biodegradación se incrementa. La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad. Los ambientes anaeróbicos en relación con la temperatura pueden subdividirse en tres categorías: psicofílico (0 a 20°C), mesofílico (20 a 40°C) y termofílico (45 a 65°C). Si el intervalo de temperatura en el reactor cambia, es necesario arrancar el reactor de nuevo. En el rango mesofílico, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye a la mitad por cada 10°C de descenso por debajo de 35°C.

Los cambios de temperatura en el intervalo mesofílico pueden tolerarse normalmente, pero cuando la temperatura desciende la carga también debe disminuirse de acuerdo con el descenso de la actividad esperada.

1.4.2.2. pH

La influencia del pH sobre la producción de metano está relacionada con la concentración de AGV. Los diferentes grupos bacterianos presentan niveles de actividad satisfactorios a pH próximos pero un poco diferentes; los hidrolíticos

entre 7,2 y 7,4, los acetogénicos entre 6,5 y 7,5. Las bacterias metanogénicas disminuyen su actividad si el pH aumenta por encima de 7,8. Cuando la capacidad metanogénica está continuamente sobrecargada y no se añade la base necesaria para neutralizar los AGV presentes, el sistema de tratamiento se convertirá en un reactor de acidificación, el pH de este efluente estará entre 4,5 y 5.

1.4.2.3. DBO5

Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea (durante 5 días generalmente), a una temperatura de incubación de 20 °C y en presencia de nutrientes. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Se utiliza para el cobro de la tasa retributiva. Medida en el afluente y efluente del reactor permite calcular la remoción del mismo.

1.4.2.4. DQO

Es una medida de la materia orgánica en la muestra equivalente, a la cantidad de oxígeno que se puede oxidar químicamente en un medio ácido. Puede relacionarse con la DBO5. La oxidación se realiza con un agente oxidante fuerte en un medio ácido. Tiene la misma importancia que la DBO5.

1.4.2.5. Ácidos Grasos Volátiles (AGV)

Son la mayoría de los productos intermedios de la digestión anaeróbica del material degradable a metano: ácidos acético, propiónico, butírico y valérico. Se mide en mg Ac. Acético/L. La concentración de AGV en el efluente debe ser muy baja y debe mantenerse en estos niveles ya que los incrementos de éstos por

encima de la capacidad buffer del sistema tiene un efecto inhibitor de los compuestos intermedios que se produce en función de su grado de ionización.

La actividad metanogénica está, así mismo, relacionada con la capacidad de tiempo que el lodo tiene para adaptarse a los AGV del sustrato usado. Los AGV son degradados por bacterias acetogénicas hasta ácido acético, que constituye el mayor sustrato de las bacterias metanogénicas.

1.4.2.6. Alcalinidad

Cuantifica la capacidad del agua residual de neutralizar ácidos. Se mide en mg de CaCO_3/L . Es debida principalmente a la presencia de iones bicarbonato, carbonato e hidroxilo. Se ha demostrado que cuando la relación entre AGV y la alcalinidad del medio supera 0,3-0,4 es indicador de fallo inminente en el sistema de digestión anaerobia.

1.4.2.7 Sólidos

La materia suspendida o disuelta que se encuentra en un agua residual recibe el nombre de sólidos. Se divide en tres categorías:

- ❖ Sólidos Totales: sedimentables, suspendidos y disueltos.
- ❖ Sólidos Suspendidos: porción retenida por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.
- ❖ Sólidos Disueltos: porción que pasa por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.

Estos a su vez se dividen en fijos (quedan después de la ignición de la muestra) y volátiles (pérdida de peso de la muestra durante la ignición). La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación de reactores biológicos, que junto con otros parámetros, proporciona información de la eficiencia de

remoción del proceso, e indirectamente, de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor.

Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) representan la porción orgánica de los sólidos suspendidos totales (SST); estos últimos representan el parámetro ambiental para el cobro de tasa retributiva.

2. ANTECEDENTES

2.1. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN EL RELLENO CURVA DE RODAS EN MEDELLIN [2]

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el desempeño de los reactores anaerobios de flujo ascendente en lecho suspendido (UASB) y en lecho fijo de filtros anaerobios (FAFA) escala de laboratorio.

El reactor UASB en el cual se realizó el estudio es una columna construida en acrílico transparente de 14 cm de diámetro y 25 L de capacidad con dispositivos para extracción de muestras de lodo, sedimentación de sólidos, trampa desnatadora y campana de recolección de gases. Fue inoculado con 10,2 L de lodo proveniente de un UASB que trata aguas residuales domésticas de tipo flocculento, el cual presentó una AME (actividad metanogénica específica) entre 0,08 y 0,2 kg DQO/g SSV.d.

En el reactor UASB se manejaron cargas entre 1 y 24,8 kg DQO/m³.d con eficiencias de remoción entre el 30% y el 90% para TRH (tiempos de retención hidráulica) entre 3 y 5 d. Se presentó un aumento de pH hasta 9,5 lo que causó la “caída” del sistema. La capacidad buffer del sistema presentó un valor medio de 0,26..

2.2. TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE MONTEVIDEO [11]

El lixiviado producido en el relleno sanitario de Montevideo, en Uruguay, tiene las siguientes características promedio: DQO, 18.500 mg/L; DBO, 10.500 mg/L; N-NH₄, 1.500 mg/L; P, 17 mg/L; pH, 8. Este fue tratado por medio de un reactor UASB de acrílico con un volumen de 11 litros y con un reactor de biodiscos como

post-tratamiento. Se utilizó un inóculo proveniente de un reactor anaerobio, llenando con este aproximadamente un tercio del reactor.

Los parámetros de seguimiento y control fueron: DQO, AGV, alcalinidad, nitrógeno total y amoniacal, producción y composición de gas, además de concentración de metales en el lodo y los perfiles de sólidos en el reactor.

En una primera etapa se realizaron experiencias durante 10 meses con un aumento progresivo de carga a fin de determinar la carga máxima admisible. En esta etapa se llegó a valores de carga hasta 9 kg DQO/ m³.d en promedio (valor máximo puntuales de 14 kg DQO/ m³.d) y la eficiencia desde un principio se mantuvo en torno a 80%. En esta etapa se tuvieron problemas de funcionamiento cuando hubo un aumento en el pH del lixiviado crudo (8,5-9), lo que produjo un aumento en el amoníaco libre, por encima de los valores reportados como inhibitorios; esta inhibición se contrarrestó con un ajuste en el pH.

En la segunda etapa se operaron dos reactores UASB en paralelo, uno de ellos agregando fósforo en la alimentación. Las cargas máximas alcanzadas fueron 24 kg DQO/ m³ con remoción de 75% para el reactor sin adición de fósforo y de 90% para el reactor con adición de fósforo. Se observó mayor acumulación de sólidos fijos en el reactor sin agregado de fósforo y compactación de lodos en el fondo del reactor. No se observó inhibición por acumulación de metales en el periodo de funcionamiento del reactor anaerobio. De acuerdo a los resultados obtenidos, el sistema UASB-Biodiscos operaría con una eficiencia global del 94% de remoción de DQO.

2.3. ESTUDIOS DE TRATABILIDAD PARA EL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA

La empresa metropolitana de aseo de Manizales (EMAS S.A. E.S.P.) lleva a cabo junto con la Universidad Nacional Sede Manizales un estudio completo sobre los lixiviados y sus posibles tratamientos así:

CARACTERIZACIÓN Y CAUDALES:

- Balance hídrico del relleno sanitario La Esmeralda (MODELO HELP).
- Caracterización de los lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS:

- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).
- Lodos Activado
- Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)

TRATAMIENTOS QUÍMICOS:

- Tratamiento físico-químico
- Oxidación química con ozono, peróxido y permanganato.
- Adsorción en carbón activado.

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR PILOTO

Para el diseño y construcción del reactor U. A. S. B. piloto se tuvieron en cuenta varios factores y recomendaciones, tanto de la literatura como de personas que han demostrado un amplio conocimiento y experiencia en esta área. Para el diseño del reactor U. A. S. B. piloto se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Se tomó como tiempo de residencia hidráulico inicial $(TRH)_0$ 0.8 días. El TRH puede ser 1, 1.5 ó 2 días, pero por facilidad de seguimiento de las variables de proceso a nivel piloto es recomendable tomarlo como un día, y con base en estudios realizados en el Relleno Sanitario La Esmeralda decidimos tomarlo menor a un día.
- ✓ El caudal de diseño se determinó teniendo en cuenta la disponibilidad de una bomba peristáltica en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, la cual tiene como caudal mínimo de trabajo 7 ml/min. Partimos de este caudal y se incremento paulatinamente de acuerdo con el procedimiento de arranque.
- ✓ El reactor cuenta con una campana separadora, pero no se diseñó un post tratamiento al biogás, solamente se harán sugerencias para su depuración.
- ✓ Teniendo en cuenta la concentración tan variable del lixiviado, se tomó como base de cálculo para el diseño 6 Kg DQO/ m³, basados en datos experimentales de caracterizaciones del lixiviado obtenidos en la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S. A. E. S. P.
- ✓ El reactor tiene una altura efectiva no inferior a 1.0 m de altura. Se ha encontrado en la literatura que en reactores U. A. S. B. de baja altura, la producción de biogás es baja debida a la pérdida de lodo, ya que el burbujeo

aumenta al incrementarse la carga, y al tener un recorrido tan corto se impide la separación de las dos fases presentándose en algunos casos el lavado (salida) completo del reactor.

La construcción del reactor se realizó con la colaboración y asesoría del ingeniero Mario Franco, quien posee una alta experiencia en el campo de la construcción de equipos a escala piloto. El equipo fue construido en plexiglás, ya que este material presenta buena resistencia a la corrosión por CO_2 y H_2O , así como resistencia al ataque que ocasiona el biogás al estar en contacto con el oxígeno atmosférico y formarse H_2SO_4 , sobre todo en la parte superior del reactor. Además este material permite observar los fenómenos que ocurren dentro del reactor, proporcionando una herramienta adicional para el estudio del sistema a operar.

3.1. FORMA DEL REACTOR [13]

Este diseño puede hacerse en forma rectangular o cilíndrica. Se escogió la cilíndrica en virtud de las obvias ventajas hidrodinámicas como por ejemplo, la menor posibilidad de formación de zonas muertas, además del tamaño, volumen, carga y caudal que se propuso manejar.

3.2 CÁLCULO BASADO EN LA CARGA ORGÁNICA Y EN EL CRITERIO DE VELOCIDAD DE FLUJO [13]

Para la determinación de la velocidad de flujo ascendente como uno de los parámetros de diseño, se partió de variables conocidas tales como: Área y volumen del reactor a partir del diámetro y la altura efectiva, carga típica máxima de diseño y concentración promedio de lixiviado. Con estos datos se realizó el diseño de una manera satisfactoria, así:

Variables conocidas parámetros de diseño			
Diámetro de la tubería (cm)	Caudal Mínimo (ml/min)	Carga (KgDQO/m ³ d)	Tiempo de Residencia (d)
8.4	7.01	6	0.8

✓ Volumen del reactor: $V_R = TRH * Q;$ (ec. 2)

$$V_R = 0.8 d * (7.01 ml / min) * (1440 min / d) = 8075.5 ml ;$$

✓ Área del reactor: $A_R = \pi \frac{D^2}{4};$ (ec. 1)

$$A_R = \pi \frac{(8.4)^2 (cm^2)}{4} = 55.42 cm^2 ;$$

✓ Altura efectiva del reactor: $L = \frac{4 * V_R}{\pi * D^2};$ (ec. 2)

$$L = \frac{4 * 8075.5 cm^3}{\pi * (8.4 cm)^2} = 147.5 cm ;$$

✓ Flujo másico: $F = V_R \cdot C \text{ arg a};$ (ec. 3)

$$F = 8174.1 cm^3 \cdot 6 \frac{KgDBO_5}{m^3 d} = 0.049 \frac{KgDBO_5}{d};$$

✓ Carga hidráulica: $C_H = \frac{Q}{A_R};$ (ec. 5)

$$C_H = \frac{7.01 \frac{cm^3}{min}}{55.42 cm^2} = 0.126 \frac{cm}{min} = 0.076 \frac{m}{h} ;$$

Este resultado garantiza incrementos mayores de carga orgánica sin exceder la carga hidráulica típica, la cual es de 1 m/h.

✓ Velocidad de flujo en la campana: $V_F = 4(C_H)$; (ec. 6)

$$V_F = 4 \left(0.076 \frac{m}{h} \right) = 0.304 \frac{m}{h} ;$$

3.3. SEPARADOR GAS – LÍQUIDO – SÓLIDO – (GLS)

Otra parte importante y crítica en el diseño de un reactor U. A. S. B. es la campana o separador GLS, el cual es fundamental para lograr un buen funcionamiento del reactor a fin de mantener un lodo sedimentable (en su mayoría granular), un efluente clarificado (libre de gases) y unos gases adecuadamente separados.

3.3.1. OBJETIVOS DEL SEPARADOR GLS

Los objetivos a lograr con la implementación de las campanas para cada reactor son:

- ✓ Separación y descarga adecuadas del biogás en cada reactor.
- ✓ Permitir el deslizamiento del lodo dentro del compartimiento de digestión.
- ✓ Servir como una clase de barrera (stopper) para expansiones excesivas rápidas del manto de lodos (en su mayoría), dentro del sedimentador.
- ✓ Prevenir el lavado (salida) de lodo granular flotante (y floculento).

Para la construcción del separador GLS se tienen en cuenta parámetros recomendados por la literatura, los cuales indican que la campana convencional

es la mejor estructura, gracias a su fácil construcción, simplicidad de instalación y funcionamiento, y eficiencia. Los aspectos a tener en cuenta en el diseño de las campanas son:

- La velocidad de flujo ascendente en la abertura.
- La carga hidráulica superficial.
- El ángulo de los lados de la campana.
- El traslapeo vertical.

Todos estos criterios no son de ninguna manera inflexibles, ya que pueden ajustarse entre sí de acuerdo a las proporciones del reactor. Los parámetros básicos de diseño para las campanas fueron:

✓ Área de abertura:
$$A_{ABERTURA} = \frac{Q}{V_F} ; \quad (\text{ec. 7})$$

$$A_{ABERTURA} = \frac{4.2 * 10^{-4} \frac{m^3}{h}}{0.304 \frac{m}{h}} = 1.38 * 10^{-3} m^2 = 13.8 cm^2 ;$$

✓ Área de sección transversal de la campana:

$$A_{CAMPANA} = A_R - A_{ABERTURA} = \pi R_C^2 ; \quad (\text{ec. 8})$$

$$55.42 - 13.8 = \pi R_C^2 ;$$

$$R_C = 3.7 cm ;$$

Donde R_C es el radio mayor de la campana. Por lo tanto:

$$A_{CAMPANA} = 41.62 cm^2 ;$$

✓ Ancho de la abertura: $W_A = R_R - R_C$; (ec. 9)

$$W_A = 4.2 \text{ cm} - 3.7 = 0.5 \text{ cm}$$

Se asumieron para el diseño, tanto el ancho mínimo interno de la campana (H_T) y la altura tope del separador GLS sobre la superficie del líquido iguales a 2 cm. Por lo tanto:

$$W_G = R_R - W_A - 0.5(H_T) ; \quad (\text{ec. 10})$$

$$W_G = 4.2 - 0.5 - 0.5(2) = 3.5 \text{ cm} ;$$

✓ Ángulo de inclinación de la campana: el ángulo elegido para la campana fue de 60° debido a que se acomodaba mejor a las condiciones de diseño, tanto de la campana como de la tubería.

✓ Altura de la campana: $H_G = W_G \tan \alpha$; (ec. 11)

$$H_G = 3.5 * \tan 60^\circ = 6.1 \text{ cm} ;$$

✓ Traslapo: $T_V = 1.5(W_A)$; (ec. 12)

$$T_V = 1.5(0.5 \text{ cm}) = 0.75 \text{ cm} ;$$

✓ Ancho de los deflectores: $W_D = T_V + W_A$; (ec. 13)

$$W_D = 0.75 \text{ cm} + 0.5 \text{ cm} = 1.25 \text{ cm} ;$$

✓ Longitud de los deflectores: $L_D = 2W_D \tan 45^\circ$; (ec. 14)

$$L_D = 2(1.25 \text{ cm}) \tan 45^\circ = 2.5 \text{ cm} ;$$

La campana o separador GLS quedó finalmente dimensionada de la siguiente manera:

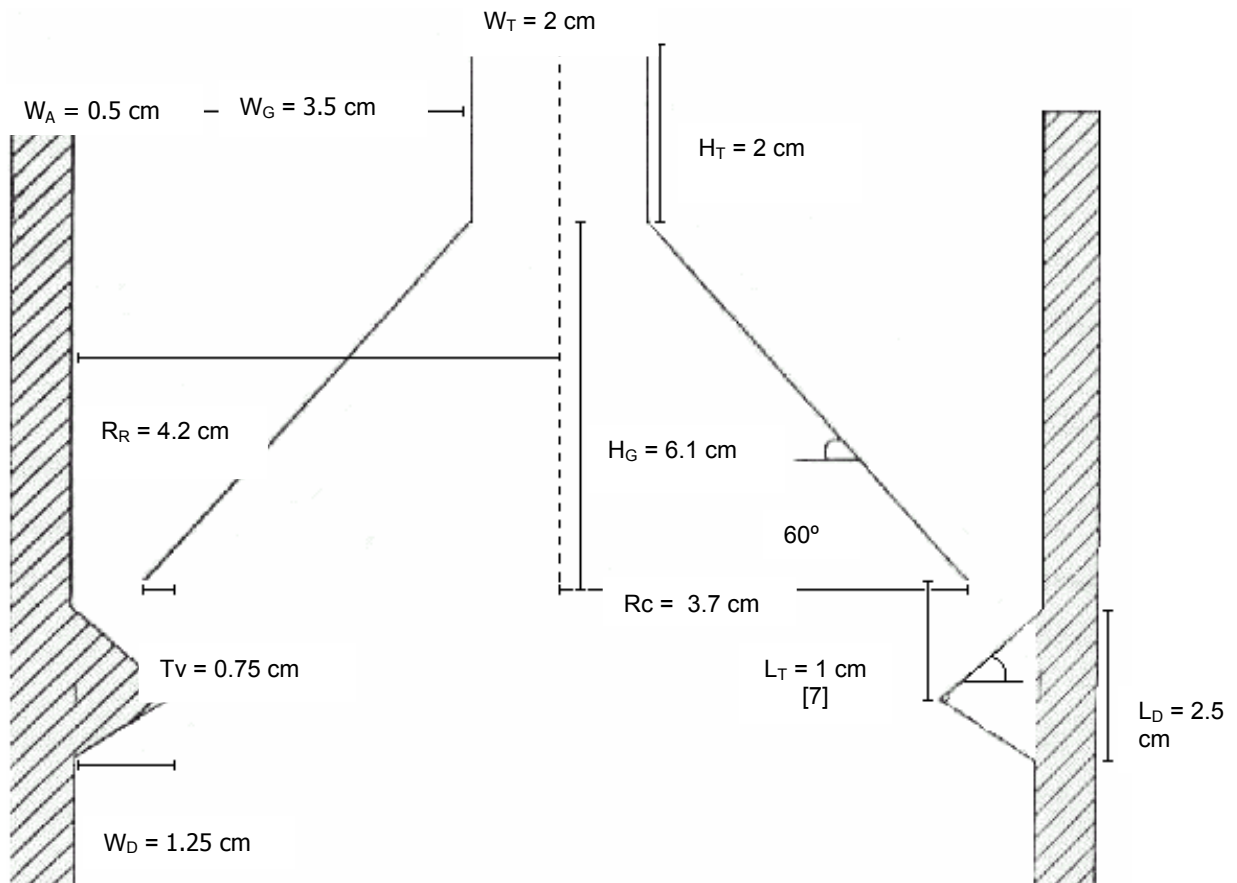


Figura 3. Criterios de diseño de la campana y deflectores.



Figura 4. Campana Separadora del reactor piloto.

3.4. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

La alimentación al reactor se hace mediante una bomba peristáltica la cual nos permite dosificar y mantener un caudal aproximadamente constante de lixiviado al reactor. Esta bomba se conecta mediante una manguera a una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada que esta en el fondo del reactor y permite que el lixiviado se distribuya por la parte inferior del sistema poniéndose en contacto con el manto de lodos. El efluente ya tratado sale por la parte superior por un orificio con diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada.



Figura 5. Bomba para Alimentación.



Figura 6. Tubería de alimentación.

3.5. MONITOREO DEL REACTOR

Para el muestreo a través del reactor, se han diseñado cuatro (4) puntos los cuales están distribuidos de la siguiente forma: de abajo hacia arriba, se tienen cuatro (4) puntos, los cuales están cada 20 cm. Esta distribución con el fin hacer un muestreo correcto para determinar el comportamiento de los sólidos en el sistema. Los puntos para monitoreo están ubicados a alturas de 10, 30, 50 y 70 cm desde la parte inferior del reactor. Cabe anotar que, en cada punto, se adaptó tubería de PVC de 1/2" con cuatro llaves de apertura rápida del mismo diámetro.



Figura 7. Puntos de Muestreo.

El equipo está rodeado de una espuma color negro, con el fin de lograr aislamiento térmico y para evitar la formación de algas, como se observa en la Figuras 8 y 9.



Figura 8. Reactor UASB piloto.



Figura 9. Cubierta de espuma del reactor

El reactor UASB piloto se encuentra instalado en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, donde se llevo a cabo el desarrollo de este proyecto.

4. ARRANQUE DEL REACTOR UASB PILOTO

El arranque del reactor se inició mediante la inoculación del mismo con 5 litros de lodo anaerobio proveniente de un reactor UASB del Relleno Sanitario La Esmeralda, con un contenido de 43000 mg/l de SSV. Las condiciones iniciales para la puesta en marcha del reactor fueron las siguientes:

- ❖ Día de arranque = mayo 4 de 2005
- ❖ Caudal = 6.95 ml/min
- ❖ DQO lixiviado = 12000 mg/l
- ❖ DQO lixiviado alimentado = 1200 mg/l
- ❖ Carga Orgánica = 1.47 kg DQO / m³ d
- ❖ Tiempo de Residencia (TRH) = 0.82 d

Durante la etapa de arranque se aumenta la carga a medida que el reactor logra llegar a su estado estable con su máxima remoción, para lo cual se busca tener una concentración constante del alimento haciendo las respectivas diluciones del lixiviado crudo traído del Relleno Sanitario La Esmeralda.

4.1 SEGUIMIENTO DE LAS VARIABLES DE ARRANQUE DEL REACTOR UASB

Los análisis realizados en el periodo de arranque del reactor fueron efectuados basándose en la metodología recomendada por el texto “Manual de análisis de aguas” [12], en donde se siguen los procedimientos recomendados por la APHA y la AWWA, los cuales se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales con la colaboración del DIMA. A continuación se presenta los resultados del seguimiento durante la fase de arranque en un periodo de 7 meses.

4.1.1 CAUDAL, TIEMPO DE RETENCIÓN Y CARGA ORGÁNICA

El caudal de alimentación es controlado mediante una bomba peristáltica, la cual presentó problemas de taponamiento, por lo cual no fue posible controlar el caudal como se tenía planeado, dando como resultado una variación de caudal durante el periodo de arranque como se muestra en la siguiente gráfica:

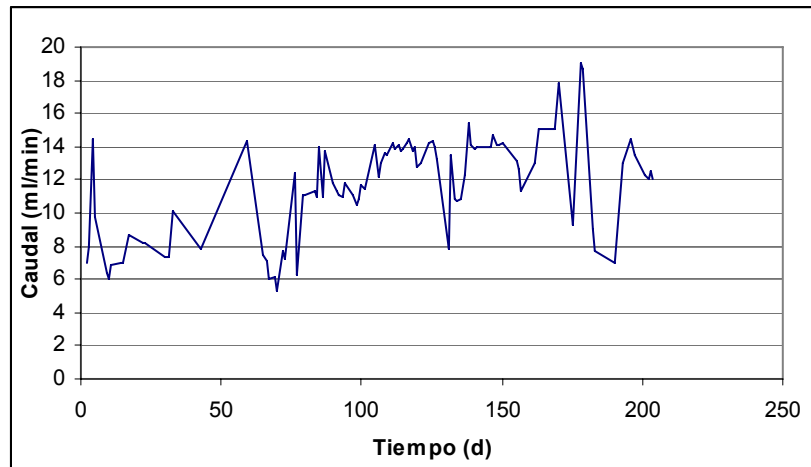


Figura 10. Variación de caudal del sistema.

Los valores de caudal varían entre 6 y 19 ml/min, para un caudal promedio de 12 ml/min. De igual forma al variar el caudal se presentaron variaciones en el tiempo de residencia hidráulico que se observa en el siguiente gráfico:

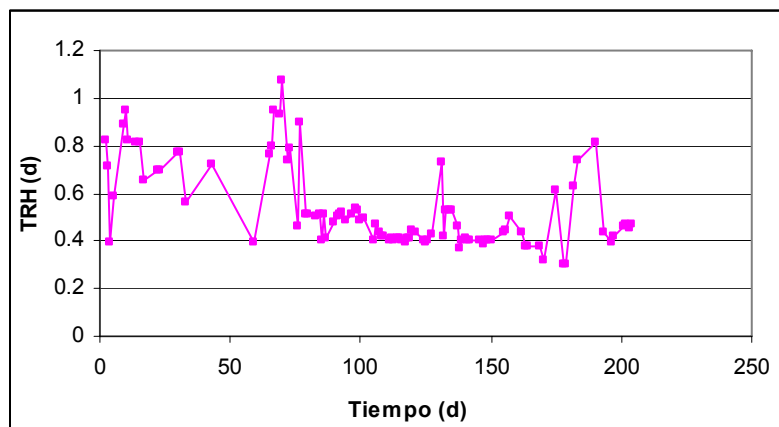


Figura 11. Tiempo de residencia hidráulico.

De esta forma el tiempo de retención disminuye a medida que avanza el periodo de arranque llegando a un valor mínimo de aproximadamente 0.4 días. De esta manera logramos el objetivo de aumentar progresivamente la carga hidráulica disminuyendo el tiempo de retención hidráulico. En la figura 12 se muestra el comportamiento de la carga alimentada con respecto al tiempo de arranque:

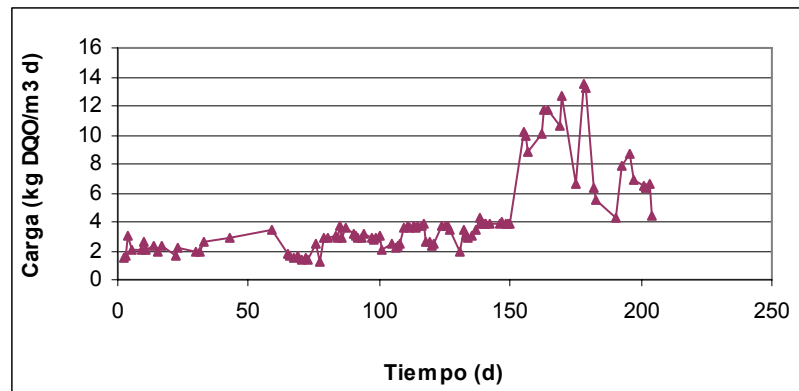


Figura 12. Carga contaminante alimentada.

Como se ve en el gráfico 12 la carga másica aumenta progresivamente hasta un valor de 14 kg DQO/m³ d, con una disminución al final ocasionado por problemas con la bomba de alimentación en las dos últimas semanas de arranque.

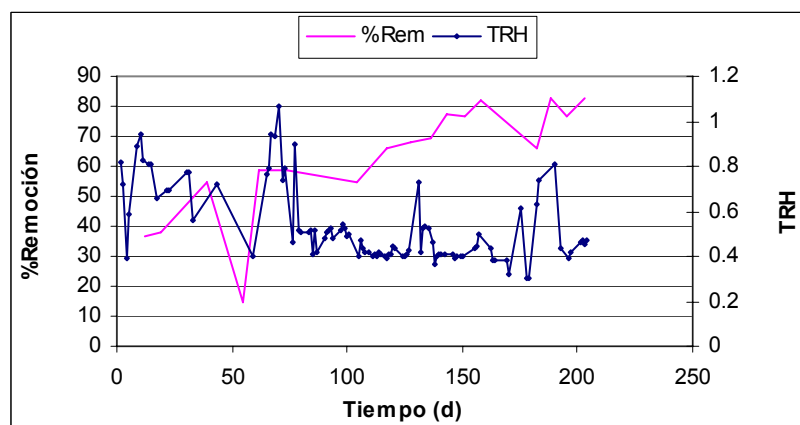


Figura 13. TRH y Remoción del sistema.

La figura 13 muestra los cambios en el TRH del sistema en el tiempo de arranque y la capacidad de respuesta del sistema; se puede apreciar un mejoramiento en la remoción a medida que cambian las condiciones hidráulicas en el sistema, ya que se aumentaba constantemente el caudal dentro de los reactores. Con lo que se puede decir que el sistema de UASB responde favorablemente a condiciones de aumento del tiempo de residencia hidráulico durante la fase de arranque.

4.1.2 COMPORTAMIENTO DE DQO Y DBO

Durante la fase de arranque del sistema se busco controlar la variación de la concentración de entrada, sin embargo se presentan variaciones durante el tiempo de trabajo. Las remociones obtenidas son significativas, lo que indica la buena respuesta del sistema a las variaciones de concentración que se presentaron

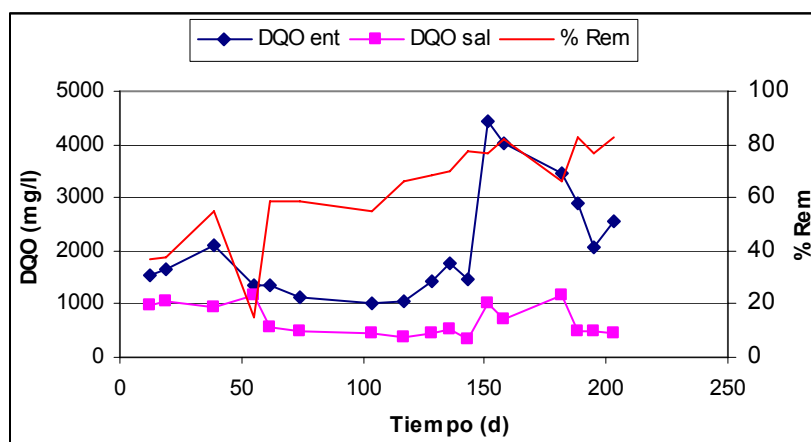


Figura 14. DQO y remoción del sistema.

Los valores para la DQO de entrada varían entre 1000 y 4500 mg/l, mientras la salida tiene la mayoría de valores de concentración por debajo de los 1000 mg/l, lo cual nos da como resultado remociones que aumentan a lo largo del arranque con valores entre el 38 y 82%. Hay que anotar que la caída de la remoción en el día 55 se debe a que el reactor se dejó en recirculación en la semana de vacaciones de mitad de año, ya que no fue posible la entrada al laboratorio en ese periodo de tiempo. En el día 182 se presentó un problema con la bomba de alimentación, por

lo cual se paro el sistema durante un día y se produjo una disminución en la remoción de valores cercanos al 80 % hasta 65 %. Sin embargo la gráfica 14 indica una recuperación muy buena del sistema después de estos bajones de remoción y un aumento progresivo de la remoción de DQO del sistema que tiende a estabilizar en valores cercanos al 80%.

Para la entrada al sistema se presentan concentraciones de DBO entre 450 y 1100 mg/l, que mediante el sistema disminuye a la salida a valores por debajo de 400 mg/l, con excepción del día 55, debido a que se dejo el sistema en recirculación por un periodo de una semana como ya se había comentado.

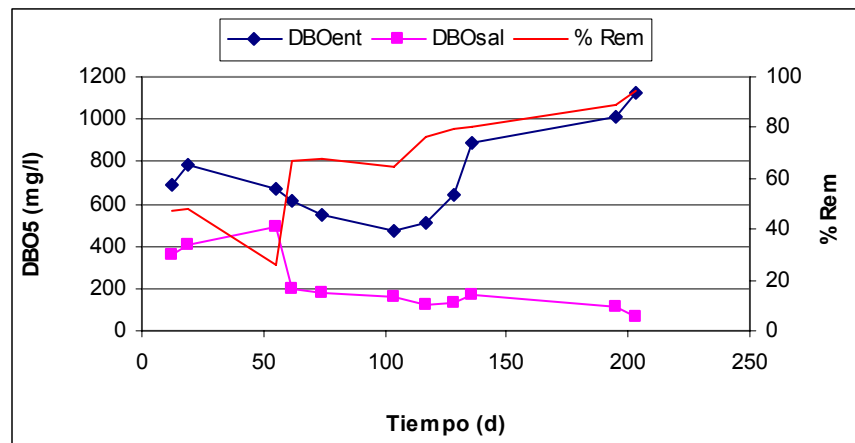


Figura 15. DBO y Remoción del reactor.

Como se observa en la figura 15 la remoción del sistema alcanza un valor máximo de 92 %, aumentando progresivamente desde el inicio del arranque. La recuperación del sistema en cuanto a remoción después de una caída es buena, como se ve en los días posteriores a la perturbación originada el día 55.

4.1.3 COMPORTAMIENTO DE LA RELACIÓN AGV/ALCALINIDAD

Uno de los parámetros de control más importante es la relación entre los ácidos grasos volátiles (AGV) y la alcalinidad del sistema, ya que este nos indica si hay

fallos o no en el funcionamiento del sistema anaerobio. La relación AGV/ALK óptima para este tipo de digestores se encuentra en valores por debajo de 0,2, cuando este valor tiene una tendencia a aumentar indica una falla en el sistema, debido al aumento de los AGV lo que implica una disminución de pH causando la inhibición a la digestión anaerobia.

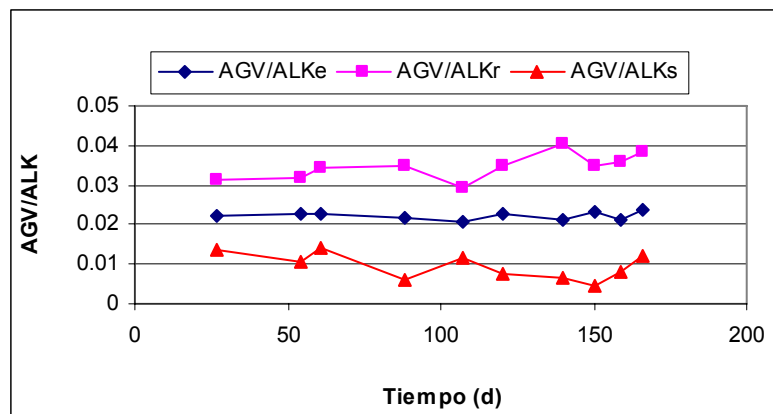


Figura 16. Relación AGV/ALK del sistema.

En la figura 16 se muestra el comportamiento de la relación AGV/ALK para la entrada al reactor, la salida y un punto intermedio dentro del reactor. Como se puede ver la relación para todos los puntos se mantiene por debajo de 0.04, lo cual es un indicativo de que no se presentan problemas de inhibición de la digestión anaerobia y que el sistema puede resistir incrementos mayores de carga orgánica.

4.1.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES

La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación de reactores biológicos, que junto con otros parámetros, proporciona información de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor.

En la figura 17 se muestran los perfiles de concentración de SSV a lo largo de la altura del reactor, durante el tiempo de seguimiento. Como se puede observar a

medida que transcurre el tiempo se presenta un aumento de la concentración de sólidos en el fondo del reactor y una disminución en los puntos de muestreo más cercanos a la salida.

Los valores en la parte del fondo del reactor están cerca de los 60.000 mg/l de SSV y las concentraciones en las partes altas del reactor se reducen hasta valores por debajo de los 10.000 mg/l.

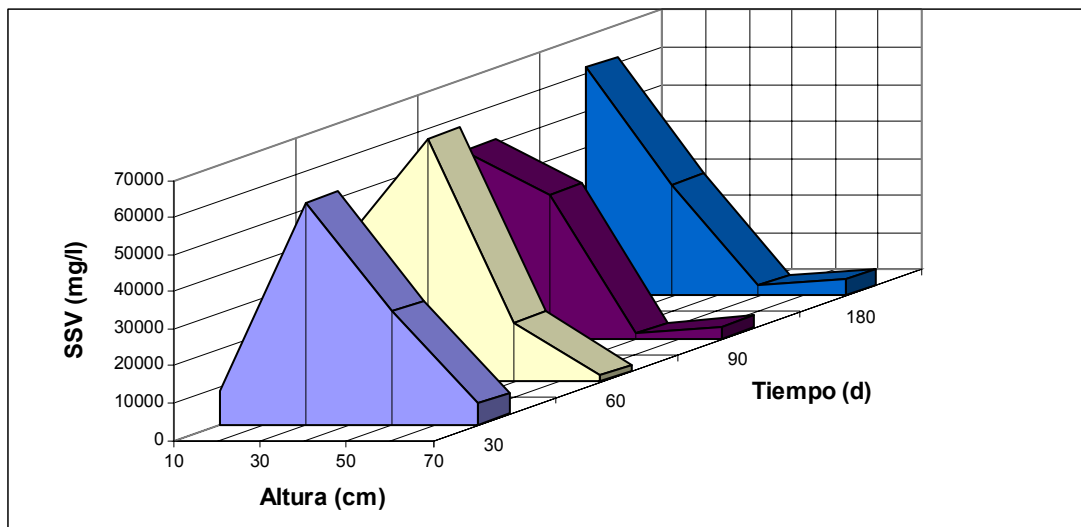


Figura 17. Perfil de sólidos en el sistema.

5. CONCLUSIONES

- ✓ El reactor U.A.S.B. piloto fue diseñado, construido e instalado en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Nacional de Colombia, de tal forma que no presentó problemas de fugas ni taponamientos durante el desarrollo de este trabajo.
- ✓ Una de las razones por las cuales se eligió el plexiglas como material de construcción del reactor, fue la de poder observar los fenómenos que se presentan en el interior del reactor. Sin embargo esto no fue posible debido a que el lixiviado y el lodo presentan un color demasiado oscuro que no permite visualizar claramente lo que ocurre dentro del sistema.
- ✓ A pesar de contar con una bomba peristáltica para controlar el caudal de entrada al sistema, no fue posible mantener un caudal constante debido a problemas de taponamiento y mal funcionamiento de la bomba. Sin embargo se logró tener un aumento progresivo del caudal y trabajar con tiempos de residencia hidráulicos menores que el de diseño (0.8 d) hasta llegar a un TRH de 0.4 d.
- ✓ Se realizó un aumento progresivo de la carga durante el tiempo de arranque acompañado de un aumento en el porcentaje de remoción del sistema. De tal forma que se obtuvieron porcentajes de remoción cercanos al 80% para DQO y 87% para DBO₅, llegando a una carga máxima de 14 kg DQO/m³ d.
- ✓ El sistema se recuperó satisfactoriamente después de sufrir una disminución considerable en su rendimiento, debido a que se dejó en recirculación durante una semana. Esto nos indica que el reactor piloto responde satisfactoriamente a perturbaciones que afectan su funcionamiento.

- ✓ Mediante este se pudo corroborar que el tratamiento de lixiviado mediante un reactor U.A.S.B. proporciona buenos resultados para la remoción de DQO y DBO. Sin embargo se debe tener en cuenta que no se trabajo con lixiviado crudo, ya que se hicieron diluciones para poder mantener una carga deseada aproximadamente constante.
- ✓ La relación AGV/ALK siempre estuvo por debajo de 0.04 mucho menor que el valor reportado en la literatura, relación de 0.2, como indicativo de problemas de inhibición del proceso de digestión anaerobia. Esto nos indica que el sistema puede resistir incrementos mayores de carga orgánica.
- ✓ Los perfiles del lodo encontrados a lo largo de la altura del reactor y durante el tiempo de trabajo muestran un aumento progresivo en la concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV) en la parte del fondo del manto de lodos y una disminución de la concentración de SSV en la parte superior del manto, lo cual es un indicio de cómo está distribuida la biomasa del sistema.
- ✓ La metodología empleada para el arranque del sistema, en la cual se realizó un aumento progresivo de carga orgánica, llevó a obtener resultados satisfactorios con remociones de 80% para DQO y 87% para la DBO con una carga orgánica alimentada al reactor de 14 kg DQO/m³ d.
- ✓ Este trabajo es una base para el desarrollo de nuevos proyectos que tendrán como objetivo estudiar el efecto de la temperara en la eficiencia del sistema y realizar la automatización del mismo.

6. RECOMENDACIONES

- Es recomendable buscar un método de alimentación que permita mantener un caudal de entrada constante para poder controlar las variables del sistema.
- Debido a la buena respuesta del sistema a los aumentos de carga durante el desarrollo de este trabajo, es posible forzar más el sistema para poder obtener cargas de alimentación más altas y determinar la carga máxima con la que el sistema puede trabajar con un buen rendimiento.
- Como recomendación para obtener mejores resultados de los parámetros de seguimiento se recomienda realizar una purga a los puntos de muestreo antes de tomar las muestras respectivas.
- Se debe buscar la forma de alimentar continuamente el sistema en épocas de vacaciones del personal de la Universidad, ya que como se menciona el reactor presenta caídas de su rendimiento cuando el sistema se pone en recirculación.
- Debido a que toda la instrumentación para la automatización del reactor ya se encuentran listas, es recomendable iniciar lo mas pronto posible con el estudio del efecto de la temperatura en el rendimiento del sistema y realizar la adecuaciones necesarias para instalar todos los equipos de control.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. GLYNN HENRY, HEINKE GARY. Environmental Science and Engineering. Prentice Hall inc.1996
2. BORZACCONI L., LOPEZ I., OHANIAN, M., VIÑAS M. Degradación anaerobia de lixiviado de relleno sanitario y postratamiento aerobio. IV Seminario taller latinoamericano sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales. Bucaramanga. Noviembre de 1996; p 569-574.
3. MORENO JIMÉNEZ, HENRY. Optimización de diseño del sistema de alimentación de reactores U. A. S. B.. Revista Memos de Investigación, No. 284. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.
4. Peña Toro, Jorge Ariel. DISEÑO Y MONTAJE DE UN REACTOR ANAEROBIO DE TIPO UASB PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y PRUEBAS PILOTO DE LOMBRICULTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE CAFÉ S. A. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. T83 / P397 ej. 1.
5. BENAVIDES SALAZAR, OLGA XIMENA. Arranque de un reactor U. A. S. B. para el tratamiento de aguas residuales de cervecería. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Ingeniería Química. 1998.
6. MERCHÁN POSADA, DIANA CONSTANZA. Arranque y operación de un reactor U. A. S. B. en la procesadora avícola de Risaralda. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Ingeniería Química. 1996.
7. LETTINGA, G. VAN VELSEN, A. HOBMA, S. DE ZEEUW, W. y KLAPWIJK, A. use of the upflow sludge blanket (UASB) reactor concept for biological

wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering* (1980), Vol 22, N° 4, p 699-734.

8. PUBLICACIONES Ph.CONIL. 1995-1996.
9. RUIZ, I. ÁLVAREZ, J. SOTO, M. El potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica. Universidad de La Coruña. Facultad de Ciencias. 1999. p 51-55
10. TCHOBANOGLOUS, G. y BURTON, F. MERCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3° ed.: Editorial Mc Graw Hill./ interamericana de España, 1995.
11. AGUDELO, R. Tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario curva de rodas de la ciudad de Medellín utilizando reactores UASB y filtros anaerobios FAFA. IV Seminario taller latinoamericano sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales. Bucaramanga. Noviembre de 1996; p 579-580.
12. GIRALDO GÓMEZ, GLORIA INÉS. Manual de análisis de aguas. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Departamento de ciencias. 1995.
13. CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICO – CIENTÍFICO UNIVERSIDAD DEL VALLE – CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, CVC – UNIVERSIDAD AGRÍCOLA DE WAGENINGEN. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento anaerobio, U. A. S. B. Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería, Departamento de procesos químicos y biológicos, sección de saneamiento ambiental. Santiago de Cali. 1989.
14. GARCÉS RAMIREZ, CARLOS DUVÁN. Determinación de las condiciones de operación de un reactor piloto U. A. S. B. en el tratamiento de aguas residuales de café soluble. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Ingeniería Química. 2000.