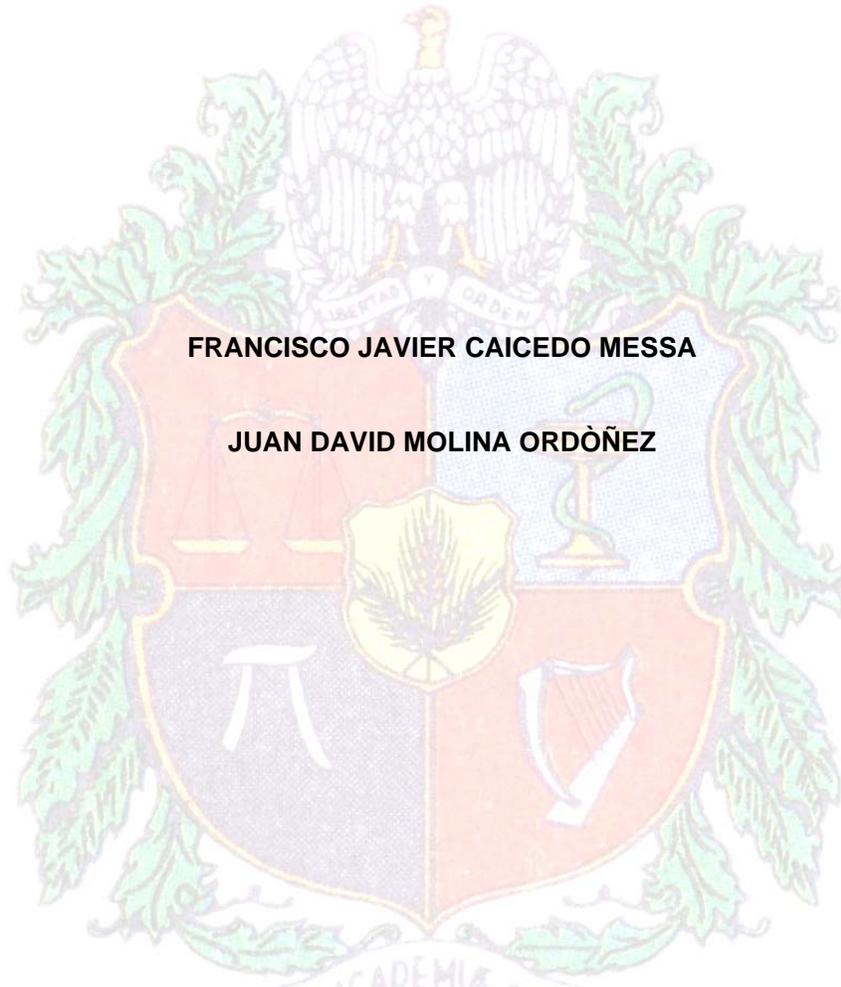


**REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO  
LA ESMERALDA POR MEDIO DE UN REACTOR U. A. S. B.**



**FRANCISCO JAVIER CAICEDO MESSA**

**JUAN DAVID MOLINA ORDÓÑEZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**MANIZALES, NOVIEMBRE DE 2003**

**REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO  
LA ESMERALDA POR MEDIO DE UN REACTOR U. A. S. B.**



**FRANCISCO JAVIER CAICEDO MESSA**

**L. P. INGENIERÍA AMBIENTAL**

**JUAN DAVID MOLINA ORDÓÑEZ**

**L.P. PROCESOS QUÍMICOS CATALÍTICOS Y BIOLÓGICOS**

**DIRECTOR**

**JORGE ELIÉCER MARÍN ARIAS**

**Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**SEDE MANIZALES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**MANIZALES, NOVIEMBRE DE 2003**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todo el personal de la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S. A. E. S. P. por su valiosa colaboración para este trabajo.

A Jorge Eliécer Marín, por todo el conocimiento y conceptos que nos sirvieron de guía para llevar a cabo satisfactoriamente nuestro trabajo de grado.

A la Universidad Nacional por la formación profesional y humana que nos brindó durante los años de colegiatura.

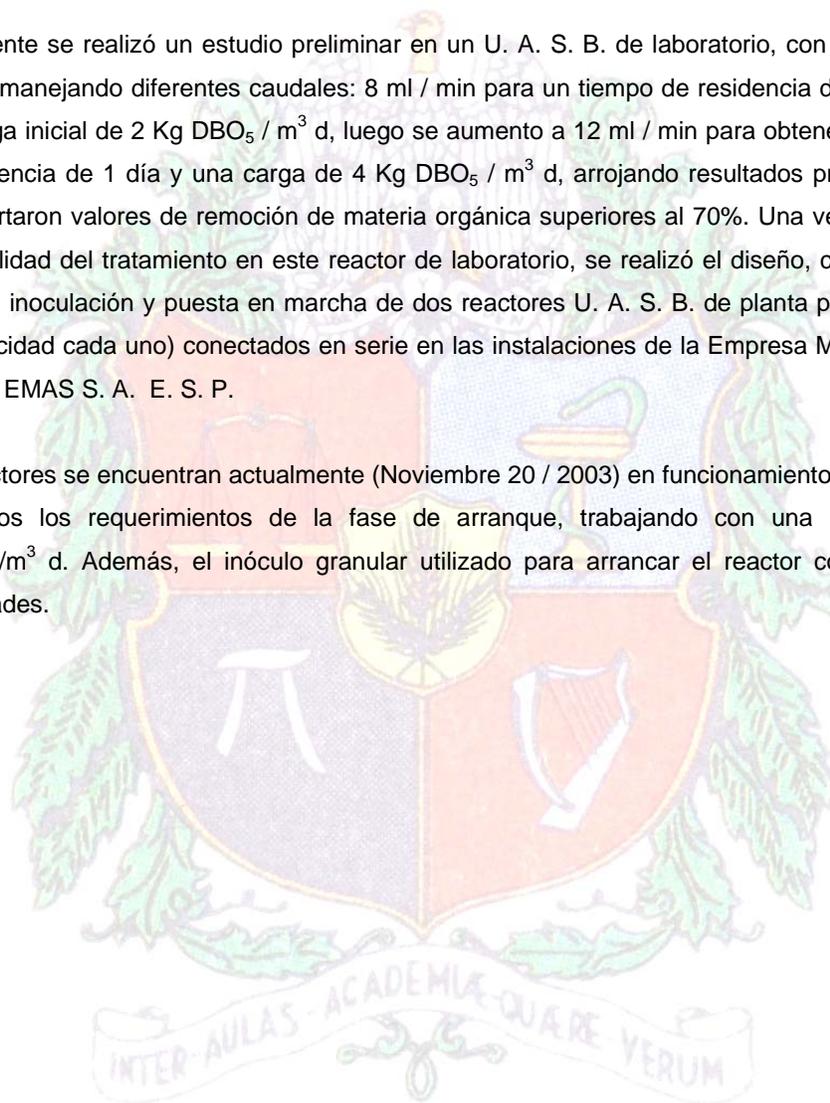


## RESUMEN

En este trabajo se investiga la aplicación de la tecnología U. A. S. B. para la remoción de materia orgánica de los lixiviados provenientes del relleno sanitario La Esmeralda.

Inicialmente se realizó un estudio preliminar en un U. A. S. B. de laboratorio, con un volumen de 25 L manejando diferentes caudales: 8 ml / min para un tiempo de residencia de 1.5 días y una carga inicial de 2 Kg DBO<sub>5</sub> / m<sup>3</sup> d, luego se aumento a 12 ml / min para obtener un tiempo de residencia de 1 día y una carga de 4 Kg DBO<sub>5</sub> / m<sup>3</sup> d, arrojando resultados prometedores que aportaron valores de remoción de materia orgánica superiores al 70%. Una vez verificada la factibilidad del tratamiento en este reactor de laboratorio, se realizó el diseño, construcción, montaje, inoculación y puesta en marcha de dos reactores U. A. S. B. de planta piloto (1.4 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno) conectados en serie en las instalaciones de la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S. A. E. S. P.

Los reactores se encuentran actualmente (Noviembre 20 / 2003) en funcionamiento cumpliendo con todos los requerimientos de la fase de arranque, trabajando con una carga de 5 KgDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> d. Además, el inóculo granular utilizado para arrancar el reactor conserva sus propiedades.

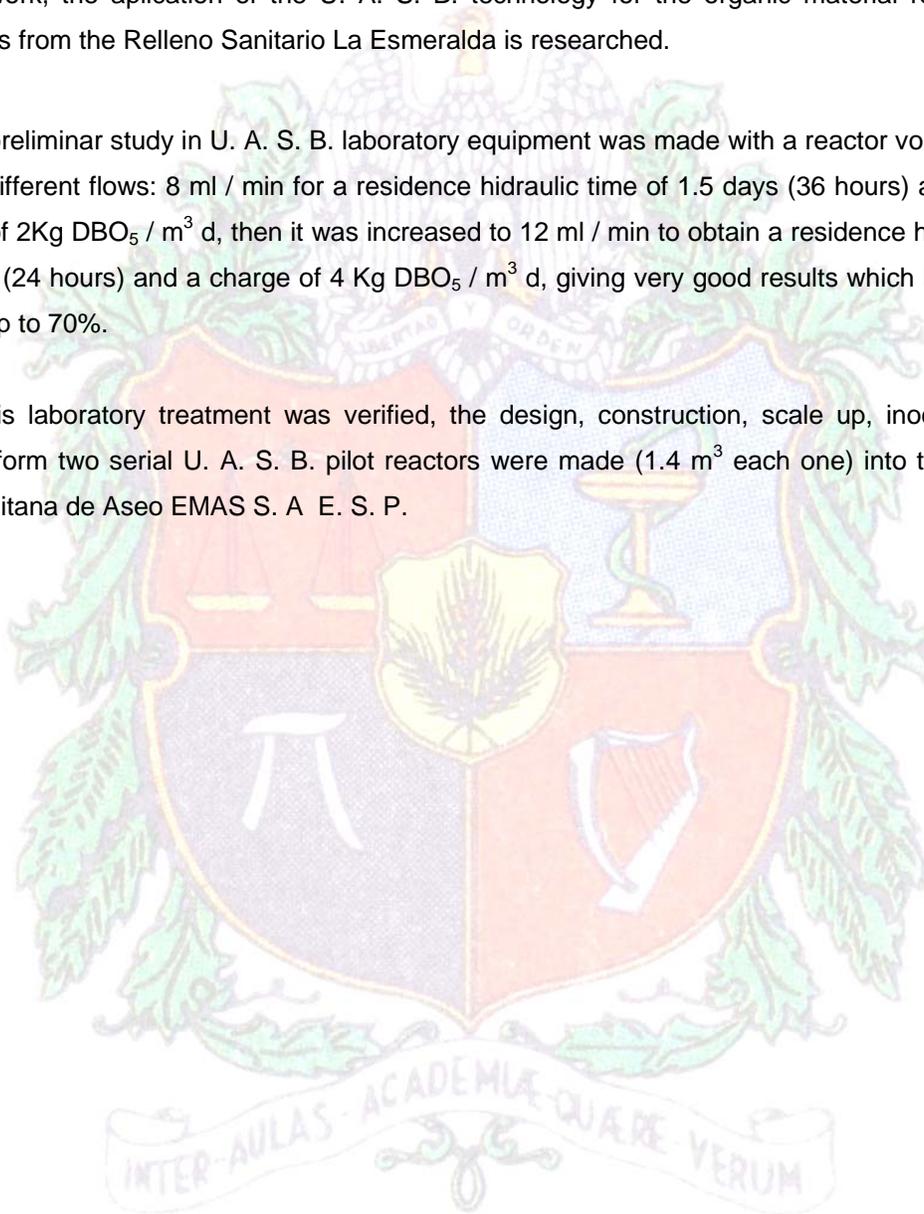


## ABSTRACT

In this work, the application of the U. A. S. B. technology for the organic material removal from leachates from the Relleno Sanitario La Esmeralda is researched.

First, a preliminar study in U. A. S. B. laboratory equipment was made with a reactor volume of 25 L driving different flows: 8 ml / min for a residence hidraulic time of 1.5 days (36 hours) and an initial charge of 2Kg DBO<sub>5</sub> / m<sup>3</sup> d, then it was increased to 12 ml / min to obtain a residence hidraulic time of 1 day (24 hours) and a charge of 4 Kg DBO<sub>5</sub> / m<sup>3</sup> d, giving very good results which had removal values up to 70%.

Once this laboratory treatment was verified, the design, construction, scale up, inoculation and starting form two serial U. A. S. B. pilot reactors were made (1.4 m<sup>3</sup> each one) into the Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S. A E. S. P.



## INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de las actividades humanas y con el aumento en la generación de residuos sólidos, las sociedades se han visto en la necesidad de establecer sistemas de recolección y disposición final de éstos. Hasta el momento, la mejor opción para disponer de los residuos sólidos son los rellenos sanitarios. En la ciudad de Manizales, se cuenta con el relleno sanitario La Esmeralda, ubicado en el Km 2 en la vía que conduce al municipio de Neira, en operación desde 1991, ante la necesidad de controlar el impacto ambiental generado por la disposición de las basuras de la ciudad de Manizales, las cuales tenían como disposición final el sector de Olivares, lugar por donde pasa la quebrada que lleva su mismo nombre.

En un relleno sanitario, los líquidos que provienen de la descomposición natural de las basuras, mezclado con aguas percoladas, reciben el nombre de lixiviados y tienen una alta carga contaminante, la cual puede ocasionar un gran impacto ambiental negativo en los recursos hídricos superficiales y subterráneos. En el caso de nuestra ciudad, se dejó de contaminar directamente la quebrada Olivares con basuras, pero surgió problema de los lixiviados que, aunque en menor proporción, continúan generando un impacto sobre los cuerpos de agua a los que son vertidos (quebrada Aguas Frías, afluente de la Quebrada Olivares).

Para minimizar el impacto generado, se hace necesario encontrar una alternativa eficiente para la remoción de los parámetros contaminantes de los lixiviados. La alternativa planteada en este trabajo fue la aplicación de un tratamiento anaerobio utilizando un reactor tipo U. A. S. B. a escala piloto.

El objetivo principal de este trabajo fue el diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de dos reactores U. A. S. B. piloto en serie para el tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario La Esmeralda.



## TABLA DE CONTENIDO

### CONTENIDO

### PÀGINA

#### RESUMEN

#### INTRODUCCIÓN

<b>1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA</b>	<b>1</b>
1.1. LA ADMINISTRACIÓN	1
1.2. CONTROL DE ESCORRENTÍA	2
1.3. CONTROL DE LIXIVIADO	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
2.1. GENERALIDADES DE LOS LIXIVIADOS	4
2.2. FACTORES QUE AFECTAN LA GENERACIÓN DE LIXIVIADO	4
2.3. COMP. DEL LIXIVIADO EN LAS FASES DE ESTABILIZACIÓN DEL RELLENO	6
2.3.1. DESCOMPOSICIÓN AEROBIA	6
2.3.2. DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA	6
2.4. CAUSAS DEL EFECTO NOCIVO DE LOS LIXIVIADOS	6
<b>3. APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS</b>	<b>9</b>
3.1. TRATAMIENTO ANAEROBIO	9
3.1.1. LAGUNAS	13
3.1.1.1. PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO POR LAGUNAS ANAEROBIAS	13
3.2. INHIBICIÓN DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO	14
3.3. REACTORES ANAEROBIOS U. A. S. B	15
3.3.1. PRINCIPIOS	16
3.3.2. ANECDENTES	17
3.4. RECIRCULACIÓN	18
3.5. EVAPORACIÓN	19
3.5.1. EVAPORACIÓN PASIVA	19
3.5.2. EVAPORACIÓN ACTIVA	19
3.5.2.1. CALDERAS	19
3.5.2.2. INTERCAMBIADORES – VAPORIZADORES	19

3.6. <u>TRATAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO. COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN</u>	<u>20</u>
<b>4. <u>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS REACTORES DE PLANTA PILOTO</u></b>	<b><u>21</u></b>
4.1. <u>FORMA DE LOS REACTORES</u>	<u>22</u>
4.2. <u>CÁLCULO BASADO EN LA CARGA ORGÁNICA Y EN EL CRITERIO DE VELOCIDAD DE FLUJO</u>	<u>22</u>
4.3. <u>SEPARADOR GAS – LÍQUIDO – SÓLIDO – (GLS)</u>	<u>23</u>
4.3.1. <u>OBJETIVOS DEL SEPARADOR GLS</u>	<u>23</u>
4.4. <u>SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</u>	<u>26</u>
4.5. <u>MONITOREO Y DESCARGA DE LODOS</u>	<u>28</u>
4.5.1. <u>MONITOREO</u>	<u>28</u>
4.5.2. <u>DESCARGA DE LODOS</u>	<u>29</u>
4.6. <u>NECESIDADES NUTRICIONALES</u>	<u>29</u>
4.7. <u>MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</u>	<u>30</u>
4.7.1. <u>CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA</u>	<u>30</u>
4.7.1.1. <u>HERMETICIDAD</u>	<u>30</u>
4.7.1.2. <u>RESISTENCIA A LA CORROSIÓN Y LA ABRASIÓN</u>	<u>31</u>
4.7.1.3. <u>RESISTENCIA QUÍMICA</u>	<u>31</u>
4.8. <u>SITIO DE INSTALACIÓN</u>	<u>31</u>
<b>5. <u>ARRANQUE DE LOS REACTORES PILOTO</u></b>	<b><u>32</u></b>
5.1. <u>INOCULACIÓN DE LOS REACTORES</u>	<u>32</u>
5.2. <u>PRUEBAS DE ARRANQUE</u>	<u>32</u>
5.2.1. <u>SEDIMENTABILIDAD DEL LODO</u>	<u>32</u>
5.2.2. <u>MÉTODO EXPERIMENTAL</u>	<u>32</u>
5.2.3. <u>CÁLCULOS</u>	<u>33</u>
<b>6. <u>RESULTADOS OBTENIDOS UNA VEZ REALIZADAS LAS RESPECTIVAS MEDICIONES DE LAS VARIBALES DURANTE EL ARRANQUE DEL REACTOR</u></b>	<b><u>42</u></b>
<b>7. <u>COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS OBTENIDOS EN EL FILTRO ANAEROBIO FAFA</u></b>	<b><u>47</u></b>
<b>8. <u>CONCLUSIONES</u></b>	<b><u>48</u></b>

<b><u>9. RECOMENDACIONES</u></b>	<b><u>50</u></b>
<b><u>10. BIBLIOGRAFÍA</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>11. ANEXOS</u></b>	<b><u>54</u></b>
<u>ANEXO 11.1. ESTUDIO FOTOGRÁFICO SOBRE EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS REACTORES U. A. S. B. EN EL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA</u>	<u>54</u>
<u>ANEXO 11.2. FOTOGRAFÍAS DEL INÓCULO EN SU PUNTO DE SEDIMENTACION DE LODOS</u>	<u>63</u>
<u>ANEXO 11.3. RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA</u>	<u>66</u>
<u>ANEXO 11.4. MANUAL TÉCNICO TUBOSISTEMAS PARA ALCANTARILLADO NOVALOC PAVCO</u>	<u>78</u>



## 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA

### 1.1. LA ADMINISTRACIÓN

El sitio destinado para el Relleno Sanitario **LA ESMERALDA** tiene en la actualidad una superficie aproximada de 54 hectáreas de topografía muy variable con marcada tendencia a pendientes superiores al 35%.

El sitio está ubicado al norte de la ciudad de Manizales distante, aproximadamente, dos (2) kilómetros de ésta por la vía a Neira (Departamento de Caldas) sobre la margen derecha de la misma. La altura promedio del sitio es de 2.020 metros sobre el nivel del mar (msnm) y su temperatura promedio durante el año es de 18°C.

La superficie del sitio esta distribuida para los siguientes usos:

- ✓ Zonas de disposición final.
- ✓ Zonas de explotación de material de cobertura.
- ✓ Zonas verdes y arborización.
- ✓ Zonas para vías de acceso.
- ✓ Zonas para instalaciones operativas (oficinas, taller y patio vehículos, casetas de portería, báscula, carreros, obreros disposición final, almacén, estación meteorológica, etc.).
- ✓ Zona para báscula.
- ✓ Zona para plantas de tratamiento.

El Relleno Sanitario **LA ESMERALDA** tiene tres (3) sitios donde pueden disponerse desechos sólidos:

El **sitio A** esta ubicado en la zona suroriental del lote e incluye la zona adyacente al lugar. Limita en su extremo oriental con la quebrada Aguas Frías. Las características de este sitio son:

- ✓ Volumen factible de disposición de basuras: 451000 m<sup>3</sup>.
- ✓ Número de días en que se pueden disponer basuras en este sitio: 1156 días.
- ✓ Número de días de disposición al año: 275 días.
- ✓ Duración del sitio: 4 años.
- ✓ Número de toneladas de basura: 231200 toneladas.

El **sitio B** esta ubicado en el extremo suroccidente del lote próximo a la vereda Corinto. Las características de este sitio son:

- ✓ Volumen factible de disposición de basuras: 1193500 m<sup>3</sup>.
- ✓ Número de días en que se pueden disponer basuras en este sitio: 3060 días.
- ✓ Número de días de disposición al año: 275 días.
- ✓ Duración del sitio: 11 años.
- ✓ Número de toneladas de basura: 612000 toneladas.

El **sitio C** se localiza en la zona central del lote del cual se tenía pensado que, al extraer material de cobertura para la operación de los sitios A y B, quedaría un lugar al que se llamaría sitio C. Las características de este sitio son:

- ✓ Volumen factible de disposición de basuras: 369500 m<sup>3</sup>.
- ✓ Número de días en que se pueden disponer basuras en este sitio: 947 días.
- ✓ Número de días de disposición al año: 275 días.
- ✓ Duración del sitio: 3 años.
- ✓ Número de toneladas de basura: 189400 toneladas.

## 1.2. CONTROL DE ESCORRENTÍA

Todas las áreas alteradas y que no van a ser cubiertas por la operación del Relleno se encuentran empajeadas y cubiertas con grama con el fin de minimizar la erosión.

Las aguas lluvias procedentes del área del Relleno que se encuentren parcialmente terminadas, son descargadas temporalmente a un sistema de zanjas y de allí se conducen a la quebrada Aguas Frías o a la Cuenca Noroccidental.

Las aguas lluvias procedentes de áreas exteriores al Relleno son desviadas hacia los canales naturales de drenaje que posee el sitio.

## 1.3. CONTROL DE LIXIVIADO

El lixiviado del Relleno Sanitario de Manzales se manejó en un principio, con base en el hecho de que el suelo de base y el material de cobertura utilizado para los residuos es relativamente impermeable y por consiguiente actúa como una barrera para los lixiviados. Además, para la base de las nuevas zonas de disposición, se utiliza una geomembrana impermeable de polietileno de alta densidad.

Parte de lixiviado percola a través del suelo de las capas de cobertura ubicadas en cada terraza de 5 a 8 metros de altura, con lo cual es parcialmente depurado por intercambio catiónico entre las partículas del suelo (atenuación natural).

El resto del lixiviado se recolecta mediante un sistema de filtros colocados en el fondo del Relleno (principales y secundarios) y en cada capa de material de cobertura ubicada cada 5 a 8 metros de altura, a través de los cuales se lleva a unos tanques de sedimentación y posteriormente a una planta de tratamiento por coagulación floculación.

Debido a que el lixiviado se genera en la consolidación de los desechos sólidos y el agua lluvia que logra infiltrarse en el Relleno, puede decirse que, debido a la gran dificultad de controlar el primer elemento generador, es necesario orientar el control a minimizar la infiltración de las aguas lluvias en el Relleno. Para ello debe permanecer descubierta la menor área posible y cubrirse las áreas del Relleno que sean terminadas con una capa de arcilla de 60 cm de espesor debidamente compactada. Para zonas definitivamente terminadas, se adiciona una capa de tierra vegetal de 20 cm de espesor.

Al cubrir los desechos con las capas finales mencionadas debe tomarse la precaución de no dejar zonas planas donde puedan formarse charcos de agua lluvia que terminen percolando a través del Relleno. En ningún caso la pendiente de la zona superior es inferior al 3% y la pendiente de los taludes no excede 2 horizontal 1 vertical.

Con estas precauciones y conjuntamente con la evaporación y transpiración propia del área de vegetación plantada en el Relleno se espera la reducción de la infiltración.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. GENERALIDADES DE LOS LIXIVIADOS**

Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios son muy contaminantes, razón por la cual pueden degradar los recursos de aguas superficiales y subterráneas. Es así como la generación, movimiento y control de los lixiviados, es uno de los más importantes problemas asociados con el diseño, operación y mantenimiento de un relleno.

En el caso de rellenos para residuos sólidos urbanos, los lixiviados muestran una alta concentración que les ha sido incorporado desde el residuo por lixiviación propiamente dicha o por dilución de los productos de la biodegradación del residuo. La velocidad de generación del lixiviado es inicialmente dependiente de la cantidad de líquido del residuo originalmente contenido y de las precipitaciones que caen sobre el relleno y que pasan a través del material de cobertura al residuo.

Las causas de producción de los lixiviados son:

- ✓ Interacción del agua superficial infiltrada sobre el residuo.
- ✓ Dinámica propia de la descomposición del residuo.

Los mecanismos de transferencia entre el agua infiltrada y el residuo, ocurren por potencial y concentración del residuo; se agrupan en los siguientes casos:

1. Paso de partículas desde el residuo al líquido
2. Disolución de sales solubles del residuo
3. Estabilización del residuo, correspondiente a la conversión de materia orgánica degradable a las formas soluble y gaseosa.

Las caracterizaciones cuantitativas y cualitativas de los lixiviados varían en un amplio rango de concentración, dependiendo de las características propias de la basura, régimen de precipitación pluvial, tipo de cobertura y densidad de la masa de vertido.

### **2.2. FACTORES QUE AFECTAN LA GENERACIÓN DE LIXIVIADO**

Según investigaciones realizadas, los factores que influyen la generación de lixiviado y también indirectamente su potencial contaminante son:

1. Clima.
2. Sitio topográfico.
3. Material de cobertura final del relleno.
4. Vegetación de cobertura.
5. Procedimientos de operación.
6. Naturaleza de los residuos que llegan al relleno.

El clima en el lugar del relleno influye significativamente en la velocidad de generación del lixiviado. En sitios localizados en áreas de alta precipitación, se puede esperar la generación de mayor cantidad de lixiviado.

La vegetación por efectos de evapotranspiración, devuelve una porción de la precipitación infiltrada en el relleno a la atmósfera. Un lugar con una capa de vegetación pobre puede experimentar erosión.

Se han encaminado investigaciones para encontrar óptimas capas de cobertura, llegando a experimentar con combinaciones de arcilla, arena y otros suelos, a fin de conseguir promover una evapotranspiración máxima, superficie de drenaje y escorrentías cuya percolación sea mínima. Las membranas geosintéticas cuando son usadas, son colocadas bajo la capa de suelo para protegerla del clima y para permitir el establecimiento de la cubierta vegetal.

Una cubierta intermedia o temporal es dispuesta sobre la superficie trabajada del relleno, antes de la aplicación de la cobertura final. La generación del lixiviado puede incrementar por la infiltración de grandes cantidades de precipitación a través de la capa intermedia. La cantidad de infiltración dependerá del material del suelo, los suelos arenosos permiten mas infiltración y los suelos arcillosos menor infiltración.

La topografía afecta las escorrentías del sitio y las cantidades de agua entrante y saliente del relleno. Los rellenos deben ser diseñados para limitar la generación del lixiviados, construyendo canales perimetrales interceptores de aguas lluvias y recubriendo con materiales que promuevan la escorrentía y reduzcan la infiltración.

Los tipos de suelos también influyen la cantidad de agua percolada en el relleno y que escapa a través de las partes bajas. Si la permeabilidad de los suelos usados como material de cobertura aumenta, la velocidad de generación de lixiviados también aumenta. En áreas donde los suelos naturales no son aconsejables para prevenir la percolación, existe la posibilidad de instalar membranas geosintéticas para recubrir en combinación con los suelos naturales.

### **2.3. COMPOSICIÓN DEL LIXIVIADO EN LAS FASES DE ESTABILIZACIÓN DEL RELLENO**

Durante la estabilización del relleno toman parte dos fases biológicas importantes:

#### **2.3.1. DESCOMPOSICIÓN AEROBIA**

Se presenta por el depósito de los residuos en zonas cercanas a la superficie o por la presencia de bolsones de aire. Esta fase tiene corta duración en razón a las altas demandas bioquímicas de oxígeno (DBO5) del residuo y por otro lado a la cantidad limitada de oxígeno presente en el relleno. El lixiviado formado durante esta etapa se caracteriza por el arrastre de material particulado, la disolución de las sales y la presencia de cantidades relativamente pequeñas de especies orgánicas características de degradación aeróbica (pequeñas sustancias intermedias en la oxidación completa a CO<sub>2</sub>).

#### **2.3.2. DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA**

Comienza cuando se ha agotado el oxígeno. En esta fase el lixiviado formado tendrá una alta concentración de ácidos grasos volátiles, bajas concentraciones de sólidos disueltos totales y un alto contenido de metano.

Un factor importante que reduce la concentración orgánica del lixiviado es la maximización de la producción del gas favoreciendo las condiciones necesarias para el desarrollo de las bacterias metanogénicas, ya que los ácidos que se transforman en metano no pueden ser lixiviados, productos de mayor complicación de tratamiento en un relleno sanitario.

### **2.4. CAUSAS DEL EFECTO NOCIVO DE LOS 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 términos 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. 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.

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.

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FISICO – QUÍMICAS TÍPICAS DE UN LIXIVIADO [10.8, 10.18]**

<b>CARACTERÍSTICAS FISICO – QUÍMICAS TÍPICAS DE UN LIXIVIADO</b>			
<b>EDAD DEL RELLENO</b>	<b>NUEVO (&lt; 2 AÑOS)</b>	<b>NUEVO (&lt; 2 AÑOS)</b>	<b>&gt; 10 AÑOS</b>
<b>CONSTITUYENTES</b>	<b>RANGO</b>	<b>VALOR TÍPICO</b>	<b>RANGO TÍPICO</b>
DQO	3000 - 60000	18000	100 – 500
DBO <sub>5</sub>	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 <sub>3</sub>	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

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.

En la actualidad en el Relleno Sanitario La Esmeralda se pretende encontrar una respuesta viable para disminuir y si es posible purificar este residuo líquido contaminante. En países como México, España, Alemania y Estados Unidos se han aplicado procesos de evaporación, evaporación pasiva en lagunas de estabilización y reinyección de lixiviados. Partiendo de estas experiencias y con reportes bibliográficos, se podrá desarrollar el método más adecuado de tratamiento de lixiviados aplicado al relleno sanitario La Esmeralda, realizando así un gran aporte al buen mantenimiento del medio ambiente de la ciudad.



### 3. APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS

De acuerdo a la caracterización físico - química de los lixiviados, en el Relleno Sanitario La Esmeralda se observa que el principal agente contaminante es la carga orgánica representada en los parámetros DBO y DQO. Por tal motivo, se abordarán los procesos anaerobios, que son los más eficientes para este tipo de residuos.

Con base en las altas cantidades de sales en los lixiviados, se presentan los principios de un tratamiento físico - químico para su precipitación.

#### 3.1. TRATAMIENTO ANAEROBIO

En primera instancia, 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 [9].

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) [12]. Esta hidrólisis ayuda a que el material particulado y los polímeros orgánicos que componen las aguas residuales pueden ser asimilados por las bacterias e incorporados a sus procesos metabólicos, así:

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

Este fraccionamiento de 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, a través del proceso posterior de digestión anaerobia se muestra cómo se convierten los AGV en ácido acético para su posterior metanización.

El paso siguiente es la acetogénesis acidoclástica y consiste en la generación de ácido acético a partir de los AGV formados en la acetogénesis [3]. 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:

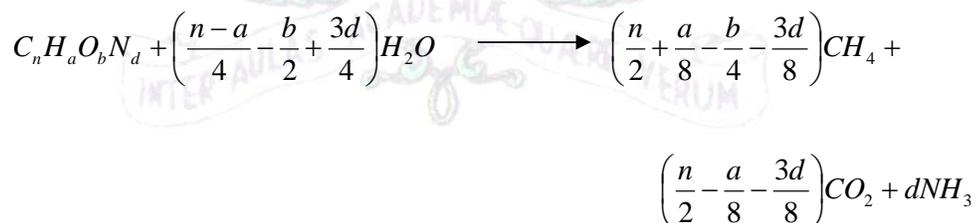


Esta reducción de sulfato es realizada por organismos estrictamente anaerobios. Estos organismos son solamente capaces de utilizar un número limitado de electrones donados, particularmente hidrógeno. El proceso de sulfato – reducción es importante en por lo menos tres (3) aspectos:

- ✓ 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 dependiente, aunque el formiato, el CO y aún el hierro elemental pueden ser donadores de electrones en la metanogénesis [14, 15].

Esta producción de metano depende principalmente del estado del carbono en la materia orgánica. 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  $\text{CO}_2$  en agua [5].

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

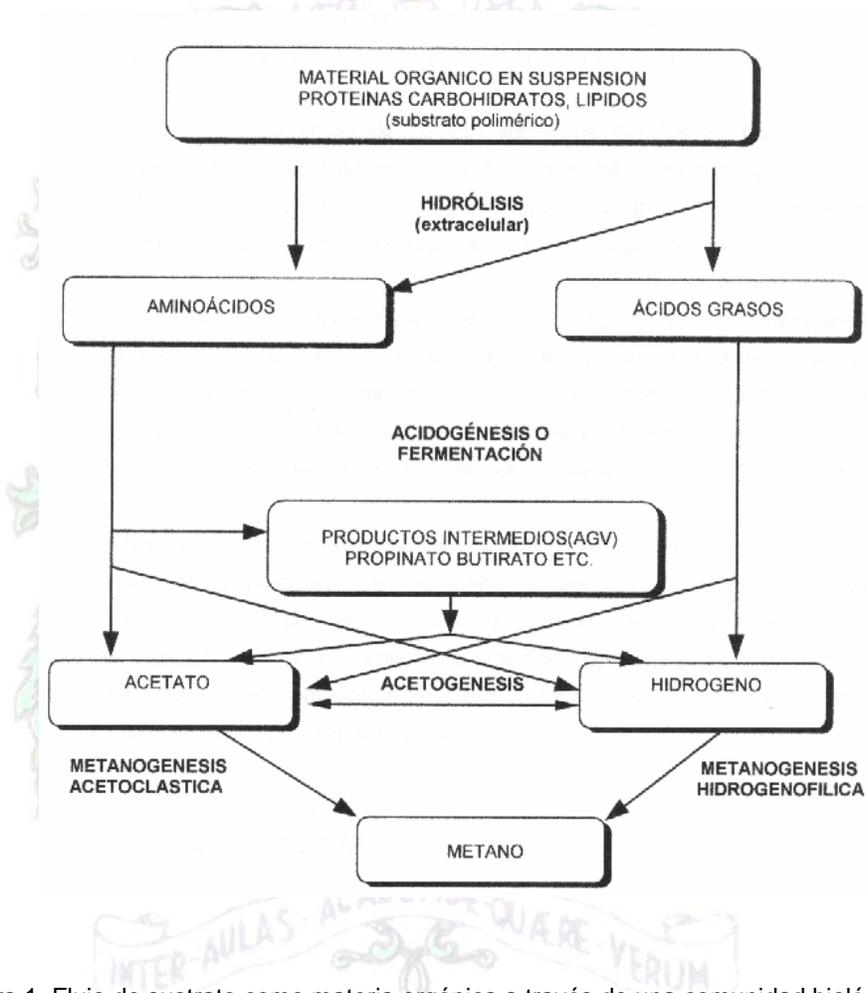


Figura 1. Flujo de sustrato como materia orgánica a través de una comunidad biológica anaerobia.

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.

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.

### **3.1.1. LAGUNAS**

Las lagunas para tratamiento de Aguas Residuales son recomendables en regiones donde el valor de la tierra es económico, las cargas orgánicas son fluctuantes, existe un requerimiento de legislación que cumplir y exige poco tiempo de entrenamiento del personal a operar el sistema. Este sistema ha sido empleado en México para tratar lixiviado, aprovechando efectos de la evaporación masiva. Las condiciones climáticas son los principales factores de influencia en la zona de las lagunas, las cuales se disponen en serie y se ubican en zonas secas de la región, donde la evaporación es mayor que la precipitación.

Normalmente las lagunas reciben los afluentes de una primera sedimentación realizada al residuo, razón por la cual son llamados sistemas secundarios de tratamiento biológico. Cuando la reducción de la DBO es la principal consideración, la práctica aconseja usar una combinación de lagunas de estabilización anaerobias y facultativas independientemente.

En el caso del tratamiento de los líquidos efluentes de un relleno sanitario, cuyo principal elemento contaminante es la carga orgánica, puede observarse que el tipo más apropiado de lagunas es el anaerobio por la elevada capacidad de remoción de carga orgánica representada en DBO.

#### **3.1.1.1. PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO POR LAGUNAS ANAEROBIAS**

El procedimiento de tratamiento de lixiviado es una combinación de operaciones físicas y de procesos biológicos y químicos que remueven el material suspendido, coloidal o disuelto de

dichas aguas. En el tratamiento convencional se utilizan rejillas para retirar materiales gruesos, desarenadores para remoción de arena, sedimentación para remoción de material sedimentable y tratamiento biológico para la oxidación de materia orgánica disuelta y coloidal. En este proceso biológico desarrollado por la actividad microbiana se generan flocs y películas biológicas, o simplemente, cultivos de microorganismos que descomponen la materia orgánica biodegradable.

Por medio de reacciones de catabolismo y anabolismo o síntesis celular se oxidan o mineralizan los compuestos orgánicos y se produce biomasa. La retención de biomasa y la evaporación de los productos gaseosos permiten efectuar la remoción de DBO. En estas transformaciones la materia orgánica del afluente es tratada por bacterias y protozoos generando gases volátiles, biomasa suspendida y compuestos oxidados, además de un floc biológico.

### **3.2. INHIBICION DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO**

El tratamiento anaerobio 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 operar un tratamiento 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.

### **3.3. 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 orgánico.

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. Entre los beneficios que poseen los reactores U. A. S. B. se encuentra la generación de 3 subproductos valiosos y comercializables:

1. Biogás.
2. Lodo estabilizado seco.
3. Agua tratada rica en nutrientes.

La relación DBO - DQO es un factor importante para conocer la clase de tratamiento a emplear. Dicha relación y el tipo de ácidos grasos presentes están comprometidos con la edad del relleno.

Un proceso aerobio es adecuado para lixiviados entre 2 y 5 años de vida, que cuentan con una relación DBO - DQO mayor a 0.7. De igual forma, el tratamiento anaerobio se recomienda para lixiviados con una relación DBO - DQO entre 0.7 y 0.3.

### 3.3.1. PRINCIPIOS

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 microbológica 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.

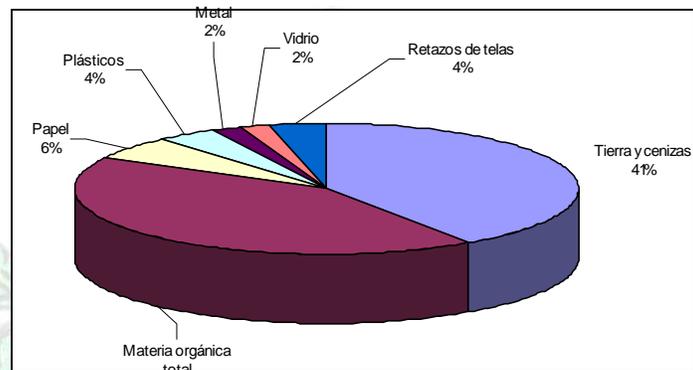
Los métodos de tratamiento anaerobio se han desarrollado en dos líneas.

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 activo y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ .

### 3.3.2. ANTECEDENTES

**3.3.2.1.** En Nueva Delhi, en el año de 1995 se trataron lixiviados, partiendo de las siguientes características de los desechos sólidos:



El lixiviado, después de la corrección de pH, se alimenta en el reactor de U. A. S. B. Este reactor tiene un tiempo de retención de 16 horas. La actividad microbiana presente en el lodo del U. A. S. B. produce el biogás, en el que su composición de metano se encuentra en un rango entre el 70 y el 75%, y el resto es dióxido de carbono, nitrógeno, sulfuro del hidrógeno y humedad. La velocidad de la producción del biogás es 0,45 m<sup>3</sup>/kg. El lodo del reactor tiene un SVI (índice del volumen del lodo) de 5 ml/g con el tamaño medio del gránulo de 5 milímetros.

**3.3.2.2.** En Finlandia, se adaptó un proceso a escala piloto que consistió de una unidad anaerobia del tratamiento (U. A. S. B.) seguida de un proceso de lodos activados. La temperatura de operación en el U. A. S. B. era de 6 – 18 °C, y en el proceso de lodos activados de 8 – 21 °C. El lixiviado tenía una DBO entre 1000 – 4000 mg / l. En el U. A. S. B., la eficiencia de remoción de DBO fue cercana al 60 % para un tiempo de residencia de 2.5 días. El impacto de la temperatura en la remoción de DBO y en la producción del gas moderado. Combinado con el proceso de remoción de nitrógeno, la remoción aumentó hasta un 90 % para la DBO. Debido a los resultados obtenidos, se optó por la construcción de una planta a escala real para el tratamiento de lixiviados.

**3.3.2.3.** En Singapur, un reactor U. A. S. B. inoculado con un lodo proveniente de aguas residuales fue utilizado para el tratamiento de lixiviados. En fase metanogénica, se produjo

biogás con un contenido de metano de 68%. Se obtuvieron remociones para DQO de 74 – 93 % y para DBO de 77 – 99%. Los resultados de este estudio de laboratorio demostraron que un sistema de U. A. S. B. se puede utilizar como alternativa viable para el tratamiento de lixiviados.

**3.3.2.4.** En Ottawa Canadá, se utilizó un tren de reactores U. A. S. B. para el tratamiento de lixiviados del relleno municipal. Todos los reactores fueron operados con cargas orgánicas entre 0.6 – 19.7 Kg DBO / m<sup>3</sup> d. Las remociones obtenidas durante a lo largo del proceso fueron del orden del 70 al 90% en DQO para tiempos de residencia en cada reactor de 24, 18 y 12 horas respectivamente. A pesar de los buenos resultados obtenidos se concluyó que el efluente de los reactores no se encontraba apto para su disposición directa en el alcantarillado según regulaciones municipales.

#### **3.4. RECIRCULACIÓN**

Este es un mecanismo viable gracias al efecto de la atenuación natural limitada. Los químicos contenidos en el lixiviado los cuales escapan del lecho de basura pueden degenerar una variedad de reacciones de conversión y de extrusión, cuando éstas pasan a través del suelo y entran a las formaciones subterráneas.

La efectividad de cada suelo para atenuar el lixiviado es diferente y no todos los elementos o compuestos son igualmente removidos o reducidos en su concentración. Se han realizado prácticas que muestran que el suelo tiene solo una capacidad limitada para remover ciertos químicos del lixiviado. Una vez esa capacidad es excedida, los químicos no son afectados por el suelo. La atenuación tiene lugar a través de 6 grandes mecanismos:

1. Filtración Mecánica.
2. Precipitación.
3. Absorción.
4. Dilución y Dispersión.
5. Actividad Microbiana.
6. Volatilización.

Es de anotar que no sólo los mecanismos de atenuación natural serán efectivos en la remoción de la contaminación química del lixiviado; es necesario tratar el lixiviado incorporando diseños de plantas para controlar su contaminación.

### **3.5. EVAPORACIÓN**

Es el proceso químico que se basa en la evaporación pasiva y en la evaporación activa.

#### **3.5.1. EVAPORACIÓN PASIVA**

Método empleado en países como México que aprovecha las condiciones climáticas secas de la región para tratar el lixiviado. El lixiviado es llevado a un sistema de lagunas que poseen profundidades de 1 metro y están cubiertas con PVC negro, lo cual ayuda a acelerar la evaporación por efectos de radiación. Factores como la presión de vapor y la temperatura también inciden en la evaporación. Las lagunas deben localizarse en extensiones de tierra originalmente planas, para evitar el incremento de costos, y además el terreno debe ser impermeabilizado con membranas para evitar la infiltración de lixiviado a las capas de suelo y su posible migración a aguas subterráneas.

La cantidad residual del proceso de evaporación pasiva en lagunas, corresponde a un fango, que se vuelve a ingresar al relleno.

#### **3.5.2. EVAPORACIÓN ACTIVA**

Este proceso aprovecha la energía de una fuente de calor para alcanzar el punto de ebullición de un líquido, logrando así un equilibrio termodinámico debido a la transferencia de las partículas de fase líquida a la fase gaseosa. Existen 2 clases de equipos usados para la vaporización:

**3.5.2.1. CALDERAS:** aparatos tubulares calentados directamente, que por principio convierten la energía en combustible en calor latente de evaporización.

**3.5.2.2. INTERCAMBIADORES - VAPORIZADORES:** no tienen fuego directo y convierten el calor latente o sensible de un fluido en calor latente de evaporización de otro.

### 3.6. TRATAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO. COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

Constituye el tratamiento básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento. De este paso depende la eficiencia del proceso subsiguiente correspondiente a la separación de sólidos por sedimentación y filtración, seguida por tratamiento biológico y/o evaporización en el caso de los lixiviados, en los que se orientan esfuerzos para minimizar carga orgánica contaminante. La remoción de la turbiedad se relaciona directamente con la manera como las partículas suspendidas sean desestabilizadas y con la intensidad de las fuerzas que las aglutinan.

El ensayo de jarras simula el efecto de la coagulación - floculación empleado para remover turbiedad, color, microorganismos, algas y otros materiales presentes como las sustancias únicas.



#### 4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS REACTORES DE PLANTA PILOTO

Para el diseño de los reactores 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. A través de visitas a industrias como la Fábrica de Café Liofilizado se obtuvo valiosa información a fin de encontrar y discernir sobre los diferentes aspectos que la literatura no alcanza a determinar muy claramente. Además de esto se sugirió la utilización de tubería sanitaria Novacor como material de construcción por sus múltiples ventajas, las cuales se mencionarán en detalle a lo largo del trabajo.

Para el diseño de los reactores U. A. S. B. piloto en serie se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Se tomó como tiempo de residencia hidráulico inicial  $(TRH)_0$  24 horas. El TRH puede ser 24, 36 ó 48 horas, pero por facilidad de seguimiento de las variables de proceso a nivel piloto es recomendable tomarlo como un día.
- ✓ Cada 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  $8 \text{ Kg DBO}_5/ \text{ m}^3$ , basados en datos experimentales de caracterizaciones del lixiviado obtenidos en la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S. A. E. S. P.
- ✓ Además de los reactores a escala piloto se debió ubicar un tanque de alimentación en cual se logra obtener el caudal deseado de alimentación y por lo tanto, la carga deseada a fin de arrancar y operar adecuadamente el equipo.
- ✓ Cada reactor tiene una altura efectiva no inferior a los 3.0 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.

#### 4.1. FORMA DE LOS REACTORES

El diseño de cada reactor fue exactamente el mismo, es decir, que se diseñó cada accesorio para un reactor, y se adaptó exactamente igual al segundo. 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.

#### 4.2. CÁLCULO BASADO EN LA CARGA ORGÁNICA Y EN EL CRITERIO DE VELOCIDAD DE FLUJO

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 (in)	Altura del reactor (m)	Carga (KgDBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> d)	Concentración (KgDBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> )
30 (0.762 m)	3	8	8

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

$$A_R = \pi \frac{(0.762)^2 (m^2)}{4} = 0.4560 m^2;$$

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

$$V_R = \pi \frac{(0.762)^2 (m^2)}{4} (3m) = 1.3681 m^3;$$

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

$$F = 1.3681 m^3 \cdot 8 \frac{KgDBO_5}{m^3 d} = 10.9499 \frac{KgDBO_5}{d};$$

✓ Caudal:  $Q = \frac{F}{X};$  (ec. 4)

$$Q = \frac{10.9499 \frac{\text{KgDBO}_5}{d}}{8 \frac{\text{KgDBO}_5}{m^3}} = 1.3681 \frac{m^3}{d} = 0.507 \frac{m^3}{h} = 0.95 \frac{l}{min} ;$$

✓ Tiempo de residencia:  $t_R = \frac{V_R}{Q} ;$  (ec. 5)

$$t_R = \frac{1.3681 m^3}{1.3681 \frac{m^3}{d}} = 1d ;$$

✓ Carga hidráulica:  $C_H = \frac{Q}{A_R} ;$  (ec. 6)

$$C_H = \frac{0.0507 \frac{m^3}{h}}{0.4560 m^2} = 0.1111 \frac{m}{h} ;$$

Este resultado garantiza incrementos mayores de carga orgánica sin exceder la carga hidráulica típica, la cual es de 1 m/h. [10.18, 10.19].

✓ Velocidad de flujo en la campana:  $V_F = 4(C_H) ;$  (ec. 7)

$$V_F = 4 \left( 0.1111 \frac{m}{h} \right) = 0.4447 \frac{m}{h} ;$$

### 4.3. 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.

#### 4.3.1. 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 traslapo 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:

$$A_{ABERTURA} = \frac{Q}{V_F}; \quad (\text{ec. 8})$$

$$A_{ABERTURA} = \frac{0.0507 \frac{m^3}{h}}{0.4447 \frac{m}{h}} = 0.114m^2;$$

- ✓ Área de sección transversal de la campana:

$$A_{CAMPANA} = A_R - A_{ABERTURA} = \pi R_C^2; \quad (\text{ec. 9})$$

$$0.4560 - 0.114 = \pi R_C^2;$$

$$R_C = 0.3299m;$$

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

$$A_{CAMPANA} = 0.342m^2;$$

✓ Ancho de la abertura:  $W_A = R_R - R_C$ ; (ec. 10)

$$W_A = 0.381m - 0.3299 = 0.0511m$$

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 0.05 m. Por lo tanto:

✓  $W_G = R_R - W_A - 0.5(H_T)$ ; (ec. 11)

$$W_G = 0.381 - 0.0511 - 0.5(0.05) = 0.3049m;$$

✓ Ángulo de inclinación de la campana: el ángulo elegido para la campana fue de  $60^\circ$  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. 12)

$$H_G = 0.3049 \tan 60^\circ = 0.5281m;$$

✓ Traslapo:  $T_V = 1.5(W_A)$ ; (ec. 13)

$$T_V = 1.5(0.0511m) = 0.07665m;$$

✓ Ancho de los deflectores:  $W_D = T_V + W_A$ ; (ec. 14)

$$W_D = 0.07665m + 0.0511m = 0.12775m;$$

✓ Longitud de los deflectores:  $L_D = 2W_D \tan 45^\circ$ ; (ec. 15)

$$L_D = 2(0.12775m) \tan 45^\circ = 0.2555m;$$

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



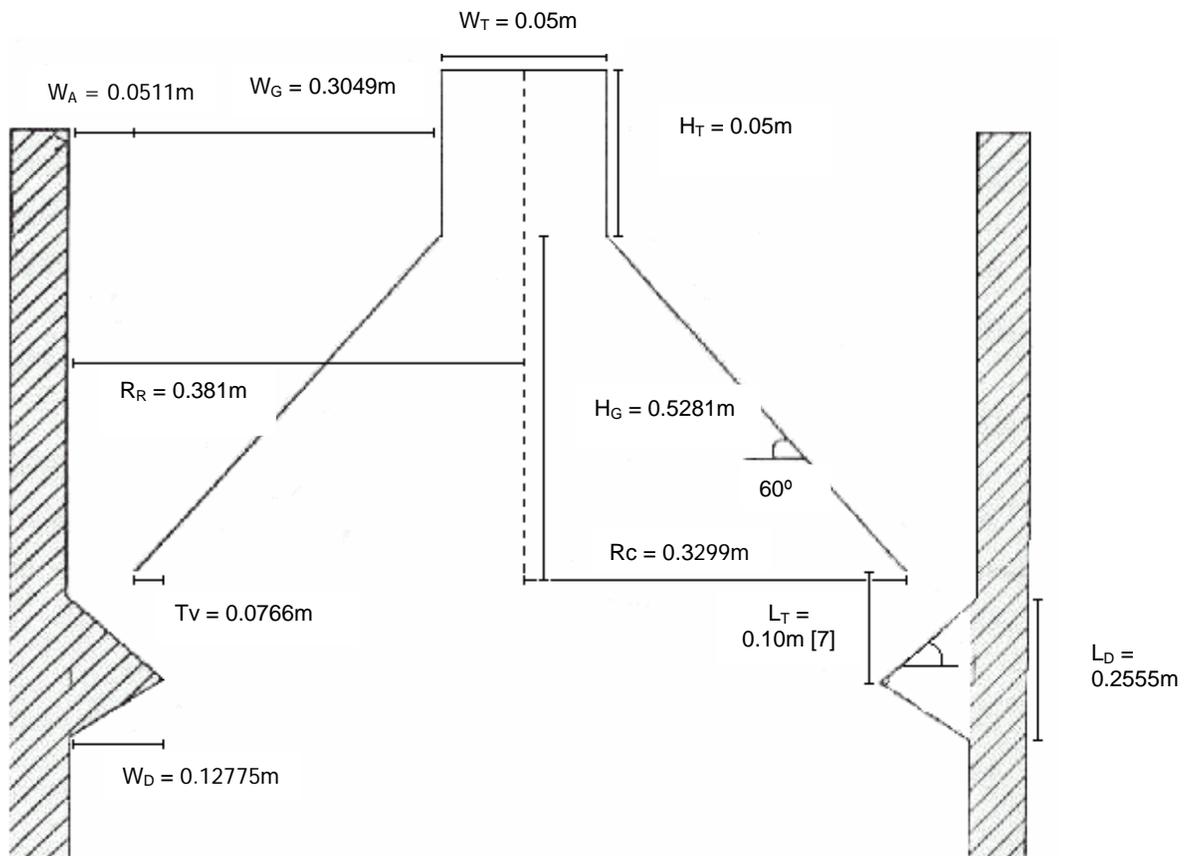


Figura 2. Criterios de diseño de la campana y deflectores.

#### 4.4. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La instalación del sistema de alimentación para ambos reactores se adecuó de la manera clásica: se colocó una tubería de PVC de 2 " de diámetro desde el fondo hasta la cima del reactor, teniendo una altura total de 3.20 m, sobrepasando en 15 cm la corona de cada reactor y en 30 cm el efluente de los mismos. Como se mencionó, este tubo atraviesa cada reactor de arriba hacia abajo, de tal forma que, cuando se alimenta, el lixiviado cae a través de este tubo y se distribuye en el fondo poniéndose en contacto con el manto de lodos y emergiendo nuevamente a lo largo de todo el reactor. Hay que aclarar que este sistema de alimentación no llega completamente hasta el fondo de cada reactor, ya que se taponaría, rebosaría y no ejercería la función para el cual se asignó, por lo que se dejó un espacio de

aproximadamente 10 – 15 cm para la correcta salida del alimento en el fondo de cada reactor.

La alimentación al primer reactor se hace mediante un tanque de Eternit con una capacidad de 500 litros, el cual está adaptado en su parte inferior con tubería PVC del diámetro anteriormente mencionado y una llave de apertura rápida de 2 “ con la cual se obtiene el caudal deseado. Debido a un error de cálculo, el primer reactor está 40 cm por encima del nivel de lixiviado contenido en la cámara, la cual supuestamente sería el punto de alimentación por gravedad. Por este motivo, se adaptó este tanque provisional, el cual es alimentado en la actualidad a mano, es decir, un operario de la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S. A. E. S. P. ejecuta las labores de llenado del tanque dos (2) veces en el día: la primera a las 7:30 a. m. y la segunda a las 5:00 p. m., asegurando alimentación constante. La alimentación ideal hubiera sido a través del uso de un sistema de regulación de flujo (el cual podría ser una motobomba o una bomba dosificadora) asegurando mejores resultados con respecto al control de caudal. Desafortunadamente, no se ha dispuesto el presupuesto para este contratiempo.

De igual forma, el efluente de cada reactor se diseñó para una tubería de PVC de 2 “ de diámetro, la cual se conecta en serie y sale del segundo reactor directamente a una cámara, en donde se pone en contacto (nuevamente) con el lixiviado viejo y nuevo, el cual se dirige directamente y por gravedad a la planta de tratamiento. Cabe anotar que el efluente del primer reactor está 5 cm por encima del alimento del segundo reactor; y que el efluente del segundo reactor está 5 cm por encima del orificio donde se conecta con la cámara, generando una inclinación suficiente para que el lixiviado se desplace fácilmente por gravedad a través de todo el proceso.

Con respecto al efluente de cada reactor, se diseñó un sistema de recolección tipo flauta de forma cuadrada con tubería, tanto del mismo material como las mismas dimensiones que las mencionadas anteriormente, las cuales reciben el flujo de cada reactor y lo llevan directamente a su siguiente. Las dimensiones de cada flauta son como sigue:

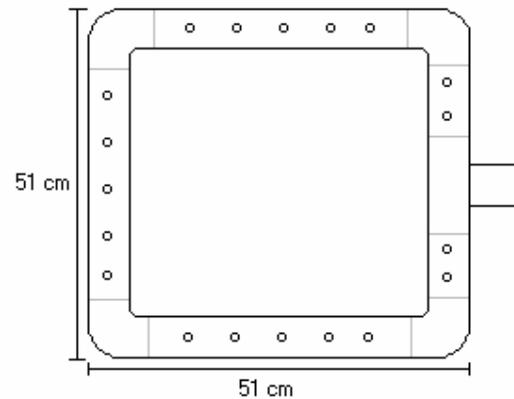


Figura 4.1.1. Esquema superior de las flautas recolectoras del efluente para cada reactor



Figura 4.4.2. Esquema de instalación real de las flautas recolectoras del efluente para cada reactor.

Entre cada orificio hay una distancia de 8 cm y los orificios tienen un diámetro de 1 cm. Se escogieron estas medidas para asegurar el no taponamiento de las flautas debidas al arrastre de lodos u otros materiales junto con el lixiviado.

## 4.5. MONITOREO Y DESCARGA DE LODOS

### 4.5.1. MONITOREO

Para el muestreo a través de cada reactor, se han diseñado siete (7) puntos los cuales están distribuidos de la siguiente forma: de abajo hacia arriba, se tienen cuatro (4) puntos, los

cuales están cada 20 cm hasta llegar a los 80 cm de altura. Esta distribución con el fin hacer un muestreo correcto para determinar la sedimentabilidad de los lodos a través del lecho. De ahí en adelante se tienen tres (3) puntos más, los cuales están ubicados cada 40 cm, llegando a una altura total de monitoreo de 2 m. El efluente se encuentra 70 cm más arriba del último punto de muestreo. Cabe anotar que, en cada punto, se adaptó tubería de PVC de 1" con accesorios del mismo diámetro: siete (7) llaves de apertura rápida (para cada reactor), catorce (14) adaptadores macho (para cada reactor), siete niples completamente roscados con sus respectivas tuercas y empaques (para cada reactor), siete (7) adaptadores hembra (para cada reactor) y siete (7) tubos en forma de flauta dentro de cada punto de muestreo de 60 cm con tapones y aberturas de 1cm de diámetro ubicadas cada 5 cm (para cada reactor).

#### 4.5.2. DESCARGA DE LODOS

Para la descarga de lodos se construyó un sistema de purga y/o evacuación en la parte inferior del cada reactor. Este sistema consta simplemente de un niple de 2 " con adaptadores machos y hembras y una llave de apertura rápida del mismo diámetro para cada reactor. Este sistema se probó satisfactoriamente con agua pero no se ha utilizado aun, ya que no se ha presentado la necesidad de purgar o evacuar completamente alguno de los reactores.

#### 4.6. NECESIDADES NUTRICIONALES

La digestión anaerobia, por ser un proceso biológico, requiere ciertos nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento en proporciones ideales de 100C : 5 N : 1P (donde C = carbono; N = nitrógeno y P = fósforo). El defecto o exceso en la relación de estos nutrientes limita el proceso metanogénico, aumentando los tiempos de residencia y los costos de operación, con la consecuente disminución de la eficiencia del sistema. Es por esto necesario asegurar que el lixiviado contiene una cantidad rica o aceptable al inóculo de éstos nutrientes a fin de obtener los resultados esperados.

En la siguiente tabla se muestra la composición elemental de las bacterias de metano (Scherer, 1983)

MACRONUTRIENTES		MICROMUTRIENTES	
ELEMENTO	mg / Kg células secas	ELEMENTO	mg / Kg células secas
N	65000	Fe	1800

P	15000	Ni	100
K	10000	Co	75
S	10000	Mo	60
Ca	4000	Zn	60
Mg	3000	Mn	20
		Cu	10

De la observación de esta tabla puede deducirse que las bacterias metanogénicas contienen los nutrientes esenciales normales como N, P y S, pero algunos micronutrientes como Fe, Ni y Co están en más altas concentraciones, lo que indica un requerimiento particular de estos micronutrientes.

#### **4.7. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

La corrosión por CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, así como el ataque que ocasiona el biogás al estar en contacto con el oxígeno atmosférico y formarse H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sobre todo en la parte superior del reactor, son problemas frecuentes en los reactores anaerobios. Por estas y otras razones, las cuales se explicarán a continuación, se eligió la tubería sanitaria Novaloc, recomendada tanto por nuestro director (Jorge Eliécer Marín) y el ingeniero Nelson González como por Pavco por ser una tubería de pared estructural con superficie interior y exterior lisa, construida a partir de un perfil extruído, que es acoplado helicoidalmente mediante un sistema de enganche mecánico. Las tuberías se fabrican en longitud estándar de 6.5 m.

##### **4.7.1. CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA**

###### **4.7.1.1. HERMETICIDAD**

Los tubosistemas para alcantarillado NOVALOC PAVCO, impiden la exfiltración de agua de los conductos, protegiendo el medio ambiente para garantizar que las aguas transportadas no se exfiltren al medio y eventualmente puedan contaminar el agua sub – superficial.

Los tubosistemas para alcantarillado NOVALOC PAVCO, impiden la infiltración, garantizando estabilidad del relleno de la zanjas como las estructuras en la superficie. Además, garantizan que el caudal transportado sea el caudal diseñado, asegurando el adecuado funcionamiento del sistema y los caudales que llegan a las plantas de tratamiento. Esta característica,

igualmente, impide la penetración de raíces que pueden causar obstrucciones en los conductos.

#### **4.7.1.2. RESISTENCIA A LA CORROSIÓN Y LA ABRASIÓN**

Los tubosistemas para alcantarillado NOVALOC PAVCO están fabricados en un material inerte que garantiza excelente resistencia a la acción de las sustancias químicas y al ataque corrosivo de los materiales presentes en las aguas que transportan (ácido sulfhídrico), así como los suelos en que están instalados (ácidos y alcalinos).

#### **4.7.1.3. RESISTENCIA QUÍMICA**

Los resultados de su comportamiento se basan en inmersiones cortas en los compuestos descritos no diluidos. Esta información debe tomarse como una guía.

En el [anexo 9.3](#) se observa para los diferentes compuestos químicos la resistencia de la tubería hacia ellos y su comportamiento.

#### **4.8. SITIO DE INSTALACIÓN**

Para el sitio de instalación se tuvieron en cuenta varios aspectos tales como:

- ✓ Punto de ubicación cercana a las cámaras de lixiviado nuevo justo antes de entrar a la planta de tratamiento.
- ✓ Cercanía del sitio de descarga final, ya que el lixiviado tratado se une nuevamente con la cámara previa a la planta de tratamiento.
- ✓ Posibilidad de adecuación de una estructura metálica y techo.

El sitio escogido se encuentra en la parte posterior a los lechos de secado, cerca de las cámaras y contiguo a la quebrada. El lugar posee una gran pendiente, por lo que el sitio final quedó de dos niveles: el primero muestra la parte frontal de los reactores para labores de muestreo y purga (si es necesaria); y el segundo nivel quedó dispuesto para lo concerniente al alimento del lixiviado el tanque de Eternit y para las labores de muestreo e imprevistos (mantenimiento, adición de lodo, etc.) de los efluentes y de la conexión con la cámara.

## **5. ARRANQUE DE LOS REACTORES PILOTO**

### **5.1. INOCULACIÓN DE LOS REACTORES**

Para la inoculación de ambos reactores se utilizaron 600 l de lodo anaerobio proveniente de los reactores U. A. S. B. de la Fábrica de Café Liofilizado ([anexo 13](#)). Cada reactor fue inoculado con 300 l de lodo cada uno. Una vez provistos completamente los reactores con lixiviado, se les suministró a cada reactor una cantidad considerable de estiércol de caballo para una correcta activación del inóculo.

### **5.2. PRUEBAS DE ARRANQUE**

#### **5.2.1. SEDIMENTABILIDAD DEL LODO**

En el sistema U. A. S. B. la retención de lodo se efectúa de dos (2) maneras:

1. Mediante la selección permanente de lodos con alta sedimentabilidad en el reactor de flujo ascendente.
2. Mediante un separador gas – líquido y sólidos en la parte superior del reactor.

Por lo tanto, la sedimentabilidad del lodo en un U. A. S. B. es un dato importante en la evaluación de su comportamiento, permitiendo cualificar de una manera más detallada la forma y crecimiento del lodo con respecto a la altura del reactor.

El arranque de un reactor es la fase cuyo principal objetivo es seleccionar y cultivar lodos que tienen una alta sedimentabilidad. Particularmente en esta fase, es importante seguir el desarrollo de la actividad del lodo. Después se utilizará la medición en forma ocasional.

#### **5.2.2 MÉTODO EXPERIMENTAL**

El método original para determinar la sedimentabilidad plantea tomar datos de volumen de lodo que sedimenta en una probeta cada minuto hasta los primeros cinco (5) minutos, y luego cada tres (3) minutos hasta un tiempo total de treinta (30) minutos. Pero, dada la alta velocidad de sedimentación desarrollada por el lodo, fue necesario reducir estos tiempos.

El método experimental utilizado es:

- ✓ Se toma una cantidad de lodo que, después de sedimentación tenga un volumen alrededor de 300 ml y se agrega en dos beaker, 150 ml en uno y 150 ml en otro.
- ✓ Se lava con abundante agua el lodo, clarificando el agua lo mayor posible, es decir, que esta agua quede los menos turbia posible. De esta forma podrá observarse el fenómeno de sedimentabilidad.
- ✓ Se filtra o decanta el contenido de cada beaker a fin de obtener el lodo lo menos húmedo posible, luego se toman 300 ml de lodo y se depositan en una probeta de 1000 ml. Se afora con agua hasta 1000 ml.
- ✓ Se mezcla el contenido de la probeta por inversión hasta que el lodo quede completamente distribuido sobre el líquido. Se mantiene la probeta invertida unos segundos.
- ✓ Se coloca la probeta en la mesa e inmediatamente se empieza la lectura del tiempo con  $t = 0$  (en este tiempo, el volumen de lodo equivale a 1000 ml), y se va determinando el volumen del lodo cada 10 segundos durante un tiempo total de 3 o 4 minutos.
- ✓ Los datos se anotan en una tabla como la siguiente:

t (s)	0	10	20	30	.....	220	230	240
V (ml)	1000	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	.....	V <sub>22</sub>	V <sub>23</sub>	V <sub>24</sub>

### 5.2.3 CÁLCULOS

1. Se convierte el volumen en centímetros de la lámina de agua, es decir, se determina la altura desplazada por el lodo a través de la probeta mediante la siguiente ecuación:

$$a = \frac{(1000 - V)L}{1000} ;$$

Donde:

a = Altura de la interfase lodo – agua.

V = Volumen de lodo.

L = Altura de la probeta (ml) entre 0 y 1000 (Generalmente no es 0 sino un valor mayor al enrase, es decir, mayor a 300 ml).

2. Se realiza una gráfica de  $a$  vs.  $t$  en que la escala vertical representa la probeta con la escala invertida.
3. Se extrapola la curva hasta el punto  $(a, t)$  (0, 0). Desde este punto se traza una recta tocando la primera parte de la curva. La pendiente de esta recta da la velocidad de sedimentación, la cual se expresa en  $m/h$  mediante las conversiones correspondientes.

Se hicieron un total de 4 pruebas, las cuales corresponden a los puntos de muestreo 1 y 2 de cada reactor. Los datos obtenidos fueron:

#### REACTOR 1

PUNTO 1		PUNTO 2	
TIEMPO (S)	VOLUMEN (ml)	TIEMPO (S)	VOLUMEN (ml)
0	1000	0	1000
10	970	10	950
20	960	20	900
30	950	30	850
40	860	40	780
50	800	50	750
60	740	60	690
70	700	70	650
80	670	80	600
90	640	90	550
100	600	100	500
110	560	110	450
120	530	120	430
130	500	130	420
140	480	140	410
150	470	150	410

160	470		160	405
170	465		170	405
180	465		180	400
190	465		190	400
200	460		200	400
210	460		210	400
220	460		220	400

**REACTOR 2**

PUNTO 1		PUNTO 2	
TIEMPO (S)	VOLUMEN (ml)	TIEMPO (S)	VOLUMEN (ml)
0	1000	0	1000
10	960	20	950
20	920	40	900
30	860	60	850
40	800	80	770
50	760	100	700
60	700	120	650
70	650	140	610
80	620	160	560
90	570	180	500
100	530	200	490
110	490	220	490
120	480	240	490
130	480	260	485
140	470	280	485
150	470	300	485
160	470	320	485
170	465	340	480
180	460		
190	460		
200	460		
210	460		

Para cada serie de datos, se calculó la altura de la interfase lodo – agua y se tabularon los valores, los cuales se muestran a continuación:

### REACTOR 1

PUNTO 1		PUNTO 2	
TIEMPO (S)	ALTURA (cm)	TIEMPO (S)	ALTURA (cm)
0	0	0	0
10	1.00	10	1.68
20	1.34	20	3.36
30	1.68	30	5.04
40	4.70	40	7.39
50	6.72	50	8.40
60	8.74	60	10.42
70	10.10	70	11.76
80	11.10	80	13.44
90	12.10	90	15.12
100	13.44	100	16.80
110	14.78	110	18.48
120	15.79	120	19.15
130	16.80	130	19.48
140	17.47	140	19.82
150	17.81	150	19.82
160	17.81	160	19.99
170	17.98	170	19.99
180	17.98	180	20.16
190	17.98	190	20.16
200	18.14	200	20.16
210	18.14	210	20.16
220	18.14	220	20.16

## REACTOR 2

PUNTO 1		PUNTO 2	
TIEMPO (S)	ALTURA (cm)	TIEMPO (S)	ALTURA (cm)
0	0	0	0
10	1.34	20	1.68
20	2.69	40	3.36
30	4.70	60	5.06
40	6.72	80	7.73
50	8.06	100	10.08
60	8.06	120	11.76
70	11.76	140	13.1
80	12.77	160	14.78
90	14.45	180	16.8
100	15.79	200	17.14
110	17.14	220	17.14
120	17.47	240	17.14
130	17.47	260	17.3
140	17.81	280	17.3
150	17.81	300	17.3
160	17.81	320	17.3
170	17.98	340	17.47
180	18.14		
190	18.14		
200	18.14		
210	18.14		

Ahora bien, las gráficas resultantes para cada reactor y sus puntos de muestreo se presentan a continuación:

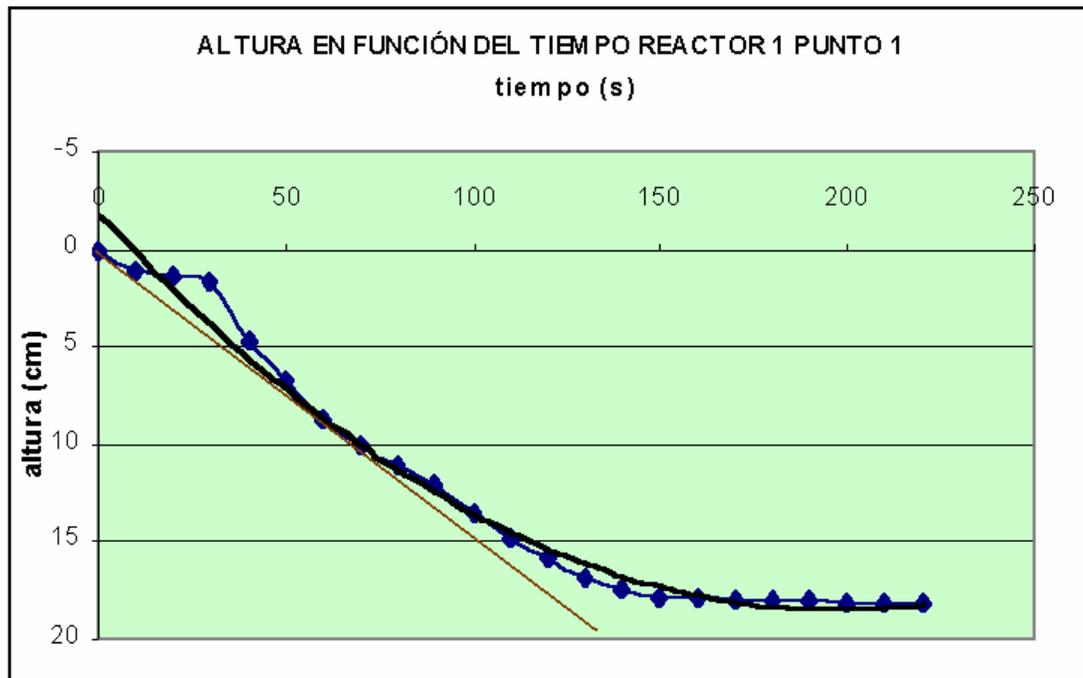


Figura 5.1. Altura en función del tiempo Reactor 1 Punto 1

La pendiente de la recta trazada mediante el método ya mencionado corresponde a la velocidad de sedimentación del lodo. Para este punto se calculó su valor, el cual fue de:

$$S = 6.67 \frac{cm}{s} = 240 \frac{m}{h}$$

De lo cual se deduce que el lodo es de tipo granular debido a su alta velocidad de sedimentación.

Para el mismo reactor pero en el punto 2 se tiene que:



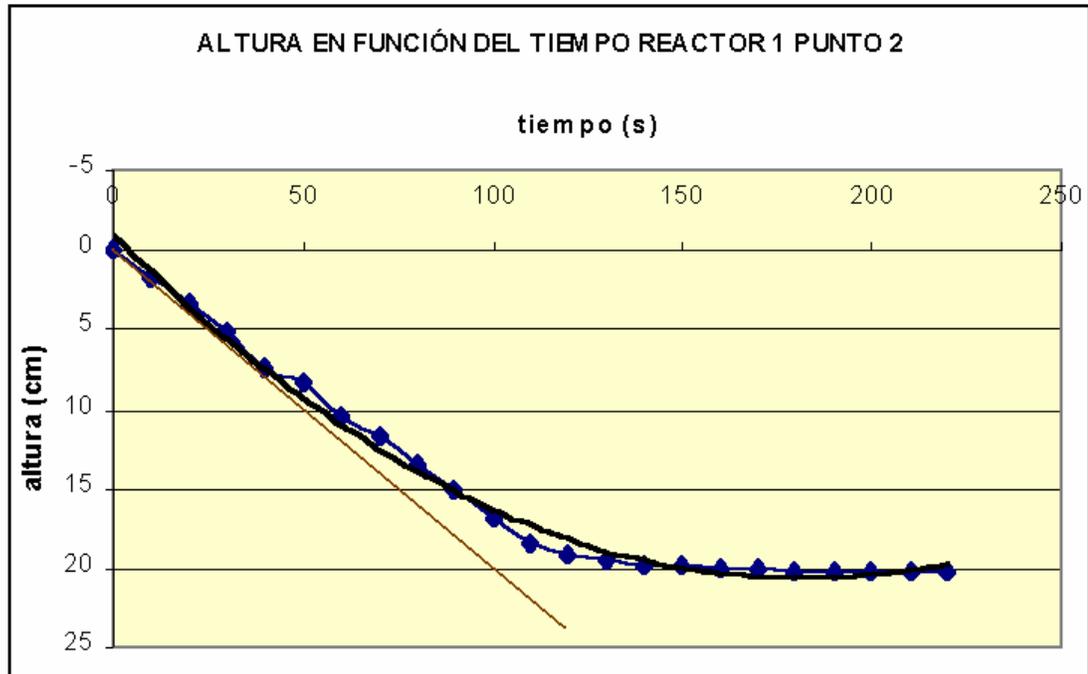


Figura 5.2. Altura en función del tiempo Reactor 1 Punto 2

Para este punto, la velocidad de sedimentación fue:

$$S = 4.78 \frac{cm}{s} = 172.17 \frac{m}{h}$$

Puede decirse que este lodo es granular gracias al mismo criterio anterior.

Para el siguiente reactor se tiene que:

Para el punto 1:



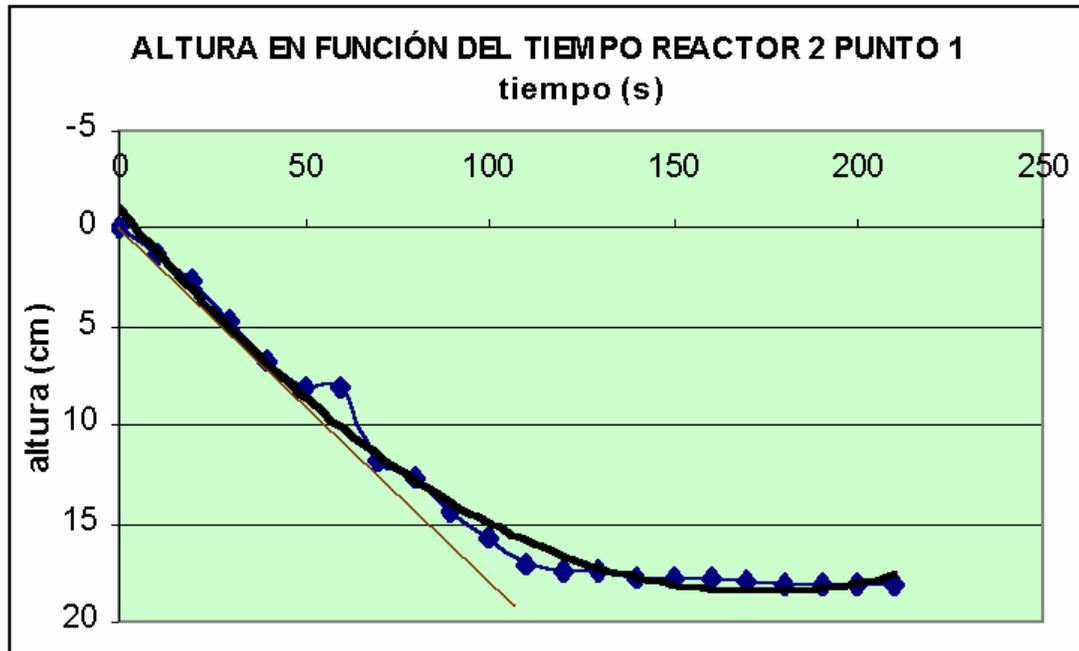


Figura 5.3. Altura en función del tiempo Reactor 2 Punto 1

La velocidad de sedimentación para este punto fue de:

$$S = 5.26 \frac{cm}{s} = 189 \frac{m}{h}$$

Puede decirse que este lodo es granular por su alta velocidad de sedimentación.

Para el punto 2 se tiene que:

INTER-AULAS - ACADEMIA QUARE VERUM

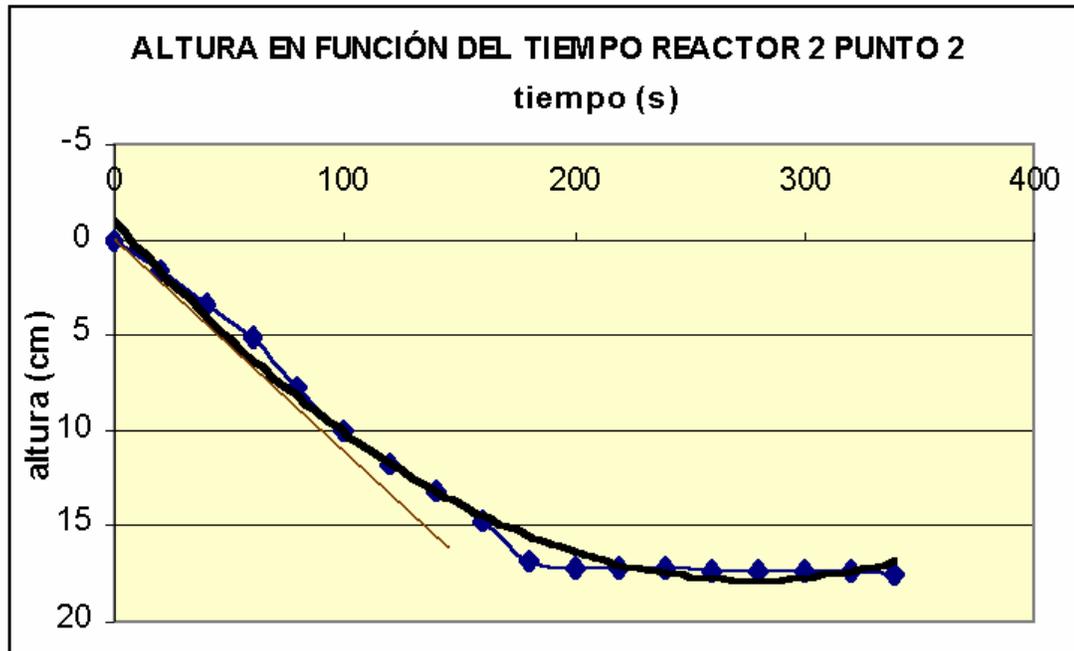


Figura 5.4. Altura en función del tiempo Reactor 2 Punto 2

Para este punto la velocidad de sedimentación fue:

$$S = 3.88 \frac{cm}{s} = 140 \frac{m}{h} ;$$

Lo que demuestra, al igual que en los demás puntos que este lodo también es del tipo granular.

## 6. RESULTADOS OBTENIDOS UNA VEZ REALIZADAS LAS RESPECTIVAS MEDICIONES DE LAS VARIABLES DURANTE EL ARRANQUE DEL REACTOR

Los valores obtenidos para las diferentes pruebas correspondientes al análisis del arranque del reactor se tomaron del U. A. S. B. que se encuentra en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Nacional de Colombia, el cual tiene las siguientes características:

- ✓ Diámetro: 0.1 m
- ✓ Altura: 2.5 m
- ✓ Volumen: 25 l
- ✓ Puntos de muestreo: 5 (Punto 1, 0.5 m; Punto 2, 0.9 m; Punto 3, 1.3 m; Punto 4, 1.7 m; Punto 5, 2.1 m)
- ✓ Alimentación: 16 perforaciones de 0.0032 m cada uno

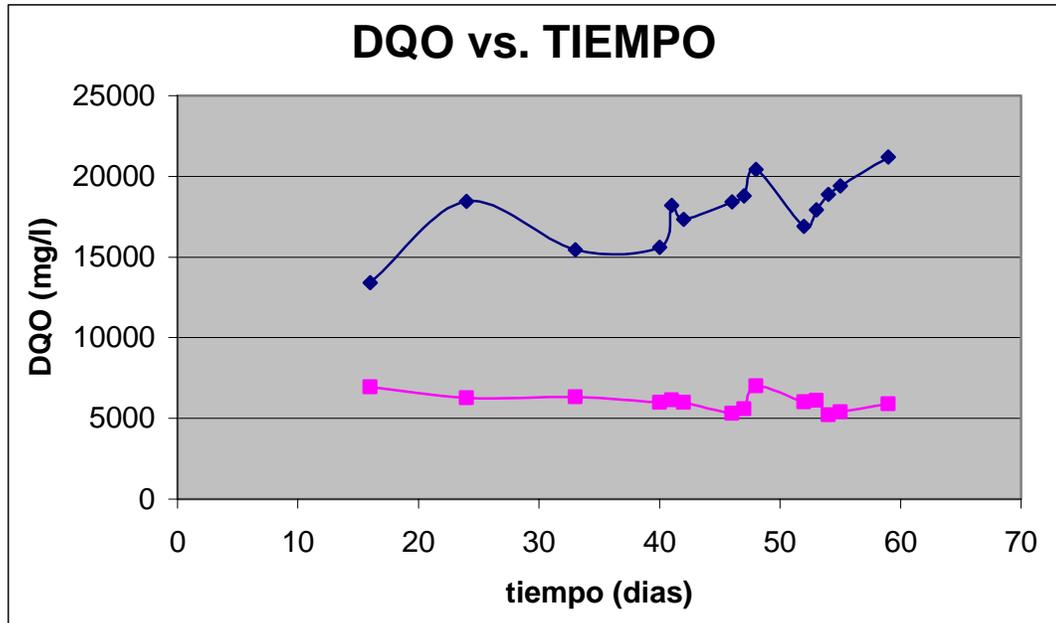
Además de esto, el inóculo adicionado fue lodo proveniente de los reactores U. A. S. B. de la Fábrica de Café Liofilizado. La empresa regaló para el proyecto un total de 20 l, de los cuales se utilizaron 10 l para la parte correspondiente al arranque. Para verificar si el método de arranque del reactor seleccionado era el indicado se analizaron en el laboratorio los siguientes parámetros: DQO micro, DBO<sub>5</sub> y Ácidos Grasos Volátiles durante un tiempo de 60 días, en cual se consideró arrancado el reactor con un caudal de 12 ml/min para un tiempo de residencia de 1.2 días. Después de este tiempo, se inició como tal el desarrollo del trabajo en EMAS. Hay que aclarar que, desde ese momento hasta hoy se diseñó, construyó y montó completamente y tal como lo proponen los objetivos de la propuesta un reactor U. A. S. B. dentro de las instalaciones de la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S. A. E. S. P.

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" [6], en donde se siguen los procedimientos recomendados por la APHA y la AWWA, los cuales se muestran a continuación en la tabla X teniendo en cuenta la disponibilidad del laboratorio de aguas de EMAS.

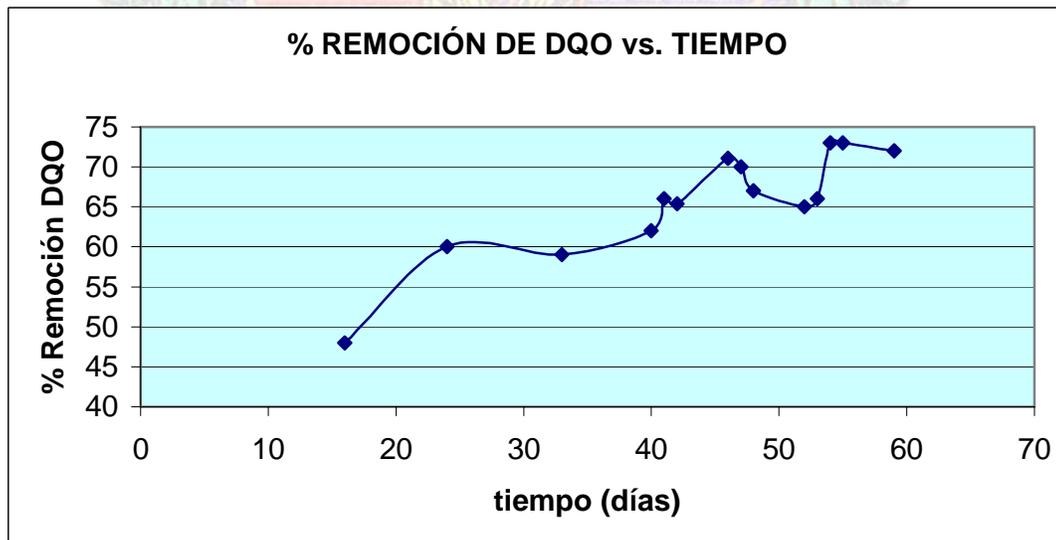
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	FRECUENCIA
DBO <sub>5</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	Manométrico	Semanal
DQO micro	mg/l O <sub>2</sub>	Reflujo cerrado	Diario
AGV	-	Titrométrico	Diario
PH	-	potenciométrico	Diario

Las tablas de datos y las gráficas correspondientes para los diferentes análisis realizados en el laboratorio son:

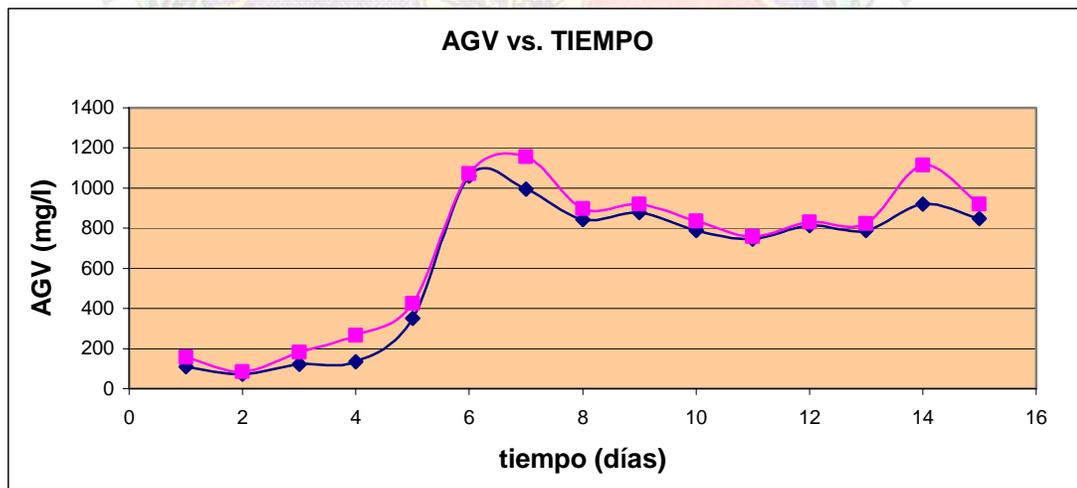
DEMANDA QUÍMICA DEL OXÍGENO ARRANQUE U. A. S. B.			
DÍA	DQO (entrada) (mg / l)	DQO (salida) (mg / l)	% REMOCIÓN
16	13400	6968	48
24	18438	6274	60
33	15450	6328	59
40	15600	5980	62
41	18200	6150	66
42	17350	5997	65.4
46	18420	5320	71.1
47	18788	5580	70
48	20432	7021	67
52	16893	6032	65
53	17933	6120	66
54	18893	5230	73
55	19400	5401	73
59	21200	5890	72



—: DQO<sub>ENTRADA</sub> ; —: DQO<sub>SALIDA</sub>

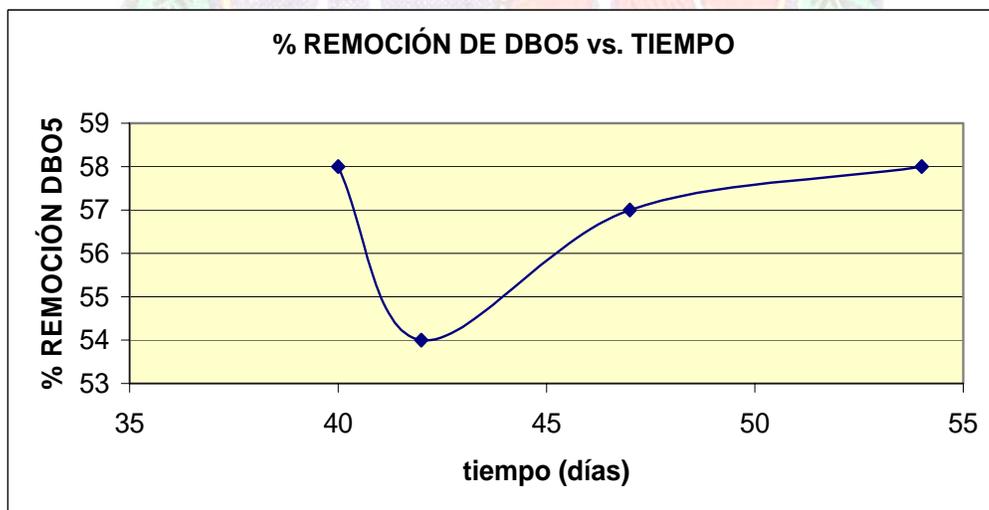
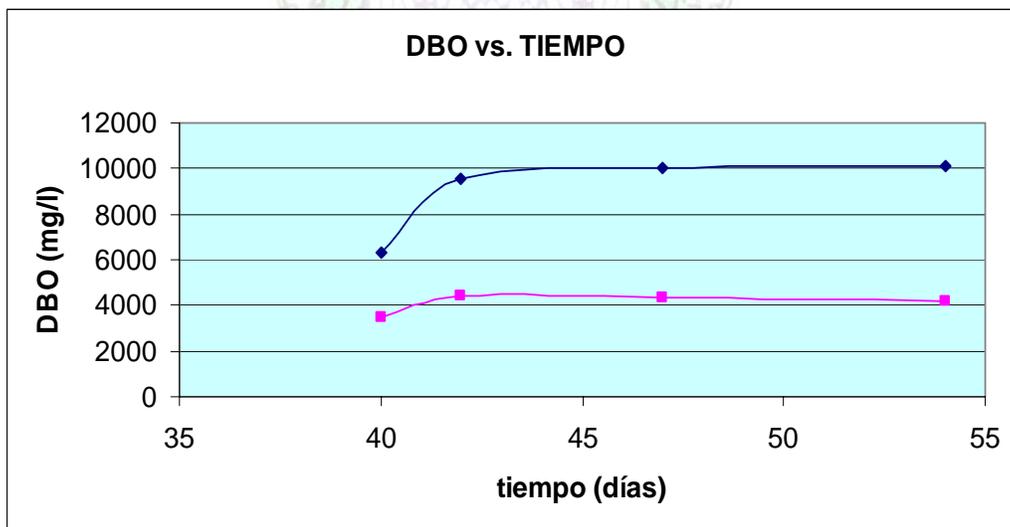


ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES ARRANQUE U. A. S. B.		
FECHA	A. G. V. (punto 1) (mg / l)	A. G. V. (punto 3) (mg / l)
Junio 17 / 03	109.0	157.5
Junio 19 / 03	72.7	84.8
Junio 24 / 03	121.2	181.8
Junio 27 / 03	133.3	266.6
Julio 02 / 03	350.0	424.2
Julio 08 / 03	1060.5	1072.6
Julio 09 / 03	993.8	1157.4
Julio 10 / 03	842.3	896.8
Julio 11 / 03	878.7	921.1
Julio 15 / 03	787.8	836.2
Julio 17 / 03	745.3	757.5
Julio 21 / 03	812.0	830.2
Julio 23 / 03	787.8	824.1
Julio 24 / 03	921.1	1115.0
Julio 28 / 03	848.4	921.1



—: AGV<sub>PUNTO 3</sub>; —: AGV<sub>PUNTO 1</sub>

DEMANDA BIOQUÍMICA DEL OXÍGENO ARRANQUE U. A. S. B.			
DÍA	DBO (entrada) (mg / l)	DBO (salida) (mg / l)	% REMOCIÓN
40	6341	3483	58
42	9528	4422	54
47	10051	4320	57
54	10113	4210	58



## 7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS OBTENIDOS EN EL FILTRO ANAEROBIO FAFA

En la Empresa Metropolitana de Aseo S. A E. S. P. se tiene actualmente un filtro anaerobio a nivel de planta piloto, el cual opera desde hace nueve meses, y en el cual se han producido buenas remociones tanto de DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos. Éstos datos obtenidos se tomaron como punto de partida para establecer la viabilidad técnica en cuanto a remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO de lixiviado dentro del relleno. A continuación se muestra un comparativo de un muestreo realizado el día 30 de Octubre de 2003, en donde se evaluó el comportamiento de ambos equipos a fin de establecer diferencias de remoción. A esta fecha, los U. A. S. B. pilotos construidos dentro de las instalaciones del relleno llevaban aproximadamente un mes (30 días) de puestos en funcionamiento.

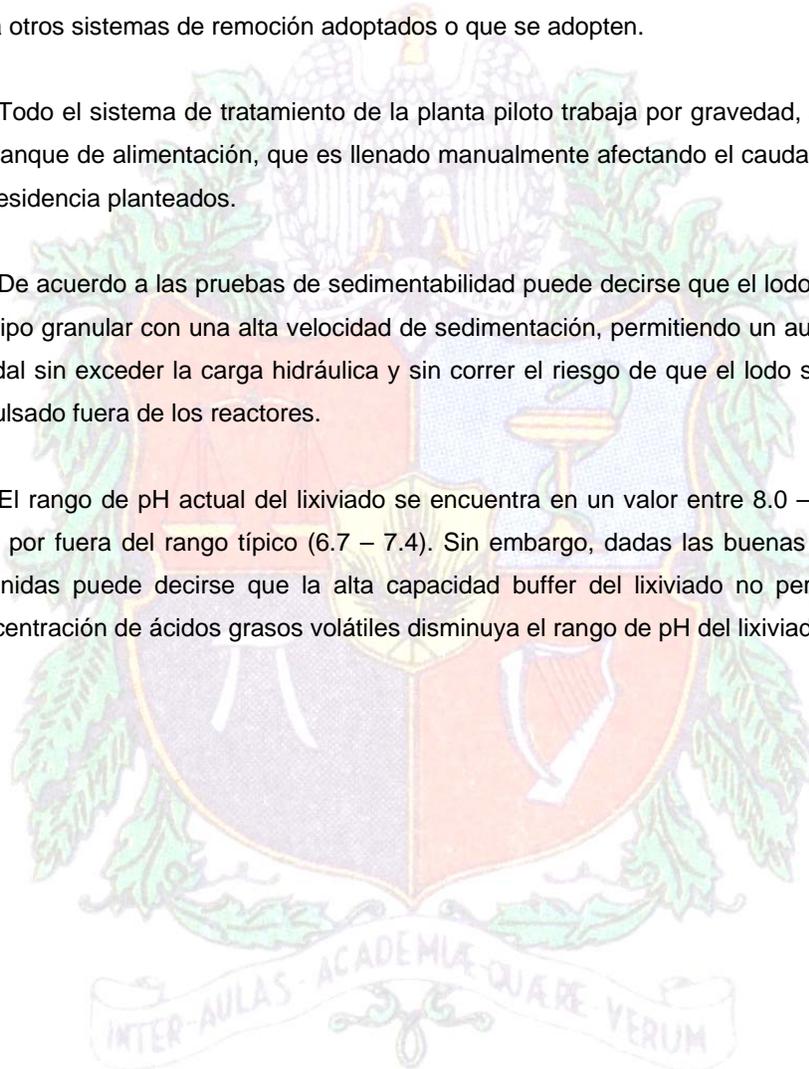
La tabla muestra resultados de remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO así:

PARÁMETRO	U. A. S. B.			FAFA		
	ENTRADA	SALIDA	%	ENTRADA	SALIDA	%
DQO (mg / l)	11000	4470	60	11000	1213.79	88
DBO <sub>5</sub> (mg / l)	8000	1320	83.5	8000	270	96

## 8. CONCLUSIONES

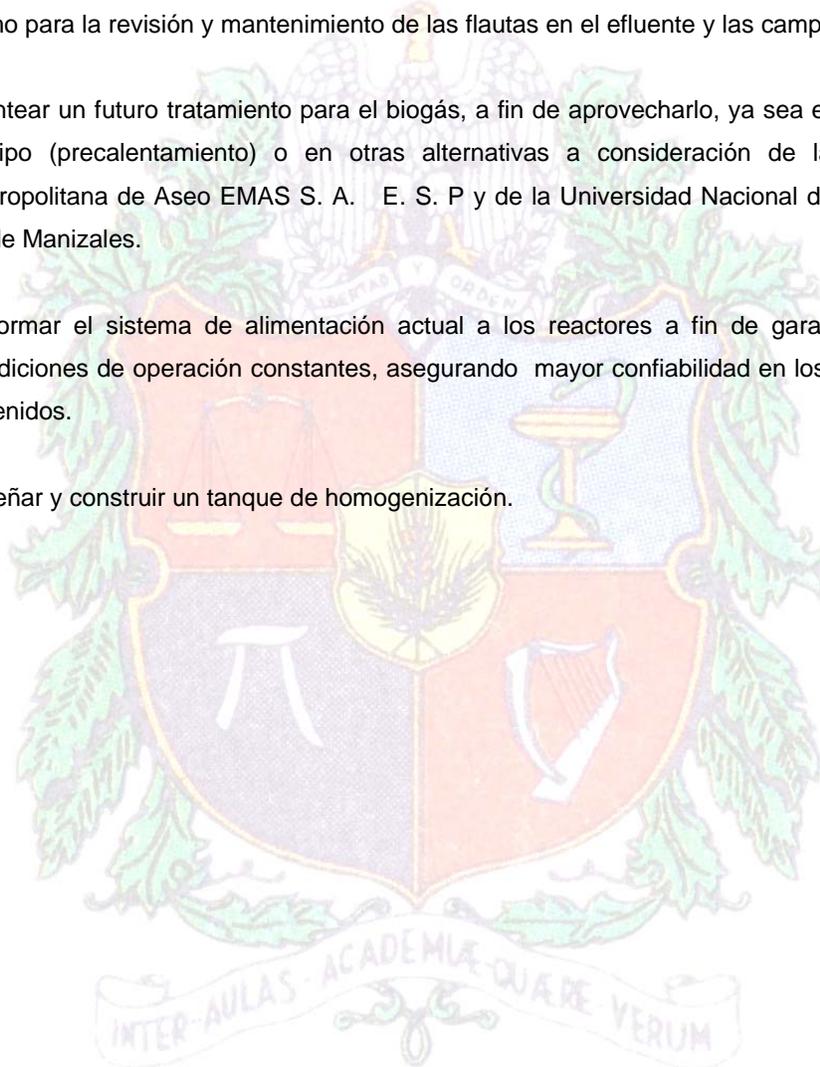
- 8.1. Se diseñó, construyó, montó y puso en marcha un sistema de dos reactores U. A. S. B. pilotos en serie en las instalaciones del relleno sanitario La Esmeralda exitosamente y en el tiempo planteado.
- 8.2. Se realizó el arranque de un reactor U. A. S. B. localizado en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales bajo los parámetros y condiciones indicadas y adecuadas.
- 8.3. Se detectó una significativa remoción de carga orgánica superior al 50% para un caudal y un tiempo de residencia constantes.
- 8.4. La producción de biogás durante la fase de arranque fue baja a pesar de las buenas remociones obtenidas.
- 8.5. La carga orgánica del lixiviado varía todos los días dependiendo, en su mayoría, de las condiciones climáticas, conllevando a fluctuaciones en las remociones durante las pruebas correspondientes al arranque.
- 8.6. La tubería utilizada para el cuerpo de los reactores presentó problemas de fugas, debido a las especificaciones de la tubería, las cuales no eran las propuestas para el diseño inicial de los equipos.
- 8.7. Hasta ahora (Noviembre 20 / 2003), ambos reactores no presentan problemas de taponamiento, tanto en sus puntos de muestreo como sus afluentes y efluentes. Además de esto, tampoco presentan problemas de filtraciones en sus bases, ni en sus conexiones con accesorios.
- 8.8. El inóculo no está siendo arrastrado por lodos u otros materiales contenidos en el lixiviado, asegurando una posición fija y estable del inóculo dentro de cada reactor. Esto se sabe por los muestreos realizados para los diferentes análisis de laboratorio.

- 8.9. La carga orgánica de diseño es de  $8 \text{ Kg DBO}_5 / \text{m}^3 \text{ d}$ , la cual esta dentro del rango típico de funcionamiento de un U. A. S. B.
- 8.10. Las fluctuaciones permanentes de la carga orgánica del lixiviado pueden convertirse en un problema serio, tanto para el funcionamiento de los reactores U. A. S. B. como para otros sistemas de remoción adoptados o que se adopten.
- 8.11. Todo el sistema de tratamiento de la planta piloto trabaja por gravedad, a excepción del tanque de alimentación, que es llenado manualmente afectando el caudal y el tiempo de residencia planteados.
- 8.12. De acuerdo a las pruebas de sedimentabilidad puede decirse que el lodo utilizado es del tipo granular con una alta velocidad de sedimentación, permitiendo un aumento en el caudal sin exceder la carga hidráulica y sin correr el riesgo de que el lodo sea lavado y expulsado fuera de los reactores.
- 8.13. El rango de pH actual del lixiviado se encuentra en un valor entre 8.0 – 8.3, el cual esta por fuera del rango típico (6.7 – 7.4). Sin embargo, dadas las buenas remociones obtenidas puede decirse que la alta capacidad buffer del lixiviado no permite que la concentración de ácidos grasos volátiles disminuya el rango de pH del lixiviado.



## 9. RECOMENDACIONES

- 9.1. No mover los reactores para evitar fugas a través de sus paredes.
- 9.2. Plantear la posibilidad de techado y elaboración de plataformas, tanto para el muestreo como para la revisión y mantenimiento de las flautas en el efluente y las campanas.
- 9.3. Plantear un futuro tratamiento para el biogás, a fin de aprovecharlo, ya sea en el mismo equipo (precalentamiento) o en otras alternativas a consideración de la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S. A. E. S. P y de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- 9.4. Reformar el sistema de alimentación actual a los reactores a fin de garantizar unas condiciones de operación constantes, asegurando mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.
- 9.5. Diseñar y construir un tanque de homogenización.

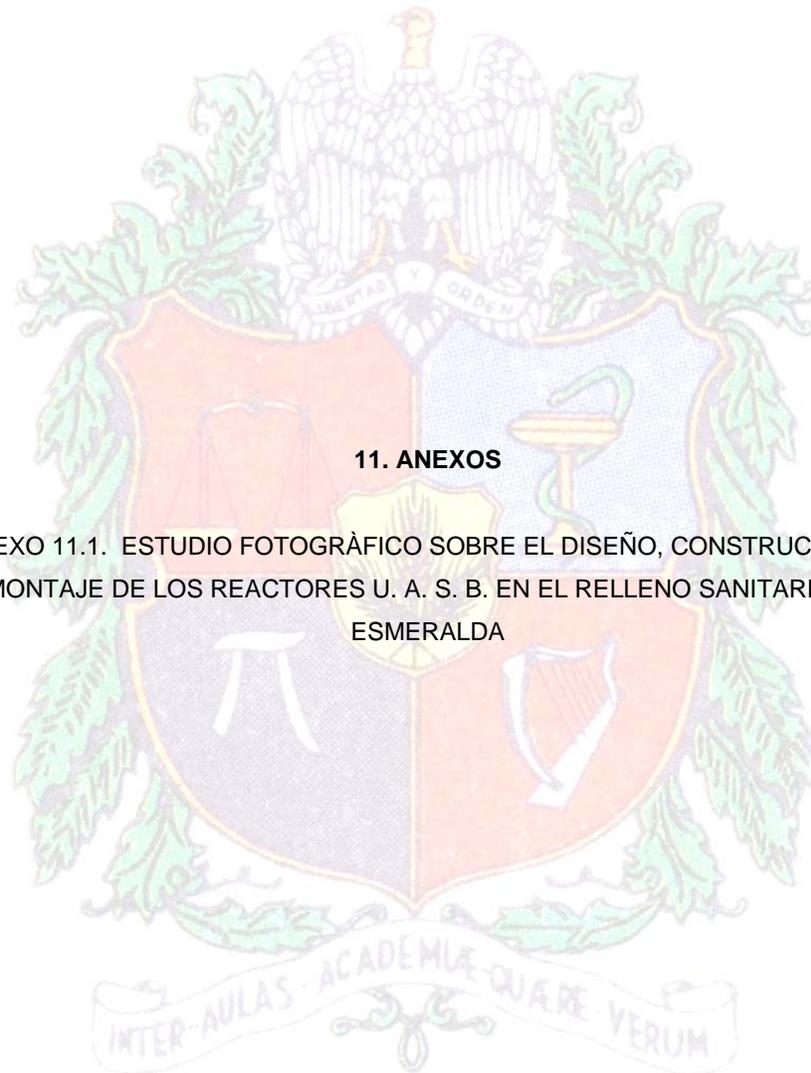


## 10. BIBLIOGRAFÍA

- 10.1.METCLAF & EDDY. Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Mc Graw Hill. Segunda edición. 1985.
- 10.2.RAMALHO, RUBENS SETTE. Introduction to wastewater treatment processes. Editorial Academic Press Limited. Second edition. 1983.
- 10.3.MORRIS A., LEVIN. Biotratamiento de residuos sólidos y peligrosos. Editorial Mc Graw Hill. Primera edición. 1997.
- 10.4.GONZÁLEZ HOYOS, NELSON DE JESÚS. Construcción y puesta en marcha de un reactor U. A. S. B.. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Ingeniería Química. 1995.
- 10.5.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.
- 10.6.GIRALDO GÓMEZ, GLORIA INÉS. Manual de análisis de aguas. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Departamento de ciencias. 1995.
- 10.7.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.
- 10.8.CASAS OROZCO, HÉCTOR MAURICIO. Estudio de tratabilidad de las aguas residuales del proceso de café soluble en un reactor piloto U. A. S. B.. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Ingeniería Química. 1999.

- 10.9. 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.
- 10.10. Y – N. AHN, K – S. MIN & R. E. SPECEE (USA – KOREA). Full scale U. A. S. B. reactor performance in the Brewery industry. Environmental Technology, vol. 22 No.4. Abril 2001.
- 10.11. DÍAZ GÓMEZ, JAIME. Evaluación del tratamiento de aguas residuales domésticas del municipio de Tunja por medio de un reactor anaerobio U. A. S. B. de dos compartimentos. Revista Proyección Universitaria, No. 19. Facultad de ciencias e ingeniería. Fundación Universidad de Boyacá. Septiembre 2001.
- 10.12. ARBOLEDA DÍAZ, BEATRIZ. recopilación, evaluación y ordenamiento de la información relativa al diseño, construcción y operación del relleno sanitario la esmeralda, en la ciudad de manizales. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. T81 / A666 ej. 1.
- 10.13. 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.
- 10.14. 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.
- 10.15. ASOCIACIÓN NACIONAL DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA QUÍMICA DE CHILE. VIII congreso latinoamericano de estudiantes de Ingeniería Química. I congreso nacional de estudiantes de Ingeniería Química. Responsabilidad social y desarrollo sustentable. Valparaíso – Viña del Mar, Chile. 2002.

- 10.16. MARCEL H. ZANDVOORT, ROY GEERTS, GATZE LETTINGA, AND PIET N. L. LENS. Effect of Long-Term Cobalt Deprivation on Methanol Degradation in a Methanogenic Granular Sludge Bioreactor. Subdepartment of Environmental Technology, Agricultural University of Wageningen, "Biotechnion"- Bomenweg, 2, P.O. Box 8129, 6700 EV Wageningen, The Netherlands. *Biotechnology Progress*. 2002.
- 10.17. ELÍAS RAZO - FLORES, GATZE LETTINGA, AND JIM A. FIELD. Biotransformation and Biodegradation of Selected Nitroaromatics under Anaerobic Conditions. Subdirección de Protección Ambiental, Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas 152, 07730 México D.F., México, and Department of Agricultural, Environmental and Systems Technology, Subdepartment of Environmental Technology, Wageningen Agricultural University, Bomenweg 2, 6700 EV Wageningen, The Netherlands. *Biotechnol. Prog.* 1999, 15, 358-365.
- 10.18. 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.
- 10.19. CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICO – CIENTÍFICO UNIVERSIDAD DEL VALLE – CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, CVC – UNIVERSIDAD AGRÍCOLA DE WAGENINGEN. Arranque y operación de un sistema de flujo ascendente con manto de lodos – U. A. S. B. – Manual del curso. Universidad del Valle. Santiago de Cali. 1987.



## 11. ANEXOS

ANEXO 11.1. ESTUDIO FOTOGRÁFICO SOBRE EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS REACTORES U. A. S. B. EN EL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA

## ANEXO 11.1.1. ESQUEMA GENERAL DE LOS REACTORES



## ANEXO 11.1.2. FORMA DE LOS REACTORES



ANEXO 11.1.3.a. SEPARADOR GLS O CAMPANA



ANEXO 11.1.3.b. SEPARADOR GLS O CAMPANA INSTALADO



ANEXO 11.1.4. SISTEMA DE DISTRIBUCIÒN  
ANEXO 11.1.4.1. FORMA DE ALIMENTACIÒN AL PROCESO



ANEXO 11.1.4.2.a. ALIMENTO AL PRIMER REACTOR



ANEXO 11.1.4.2.b. ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN AL PRIMER REACTOR



ANEXO 11.1.4.3. FORMA DE ALIMENTACIÓN AL PRIMER REACTOR



ANEXO 11.1.4.4. ALIMENTACIÓN AL SEGUNDO REACTOR



ANEXO 11.1.4.5. EFLUENTE DEL PRIMER REACTOR



ANEXO 11.1.4.6. EFLUENTE DEL SEGUNDO REACTOR



ANEXO 11.1.4.7. NIVELES DE TUBERÍA PARA AFLUENTES Y EFLUENTES



### ANEXO 11.1.5. MONITOREO Y DESCARGA DE LODOS

#### ANEXO 11.1.5.1. PUNTOS DE MUESTREO Y PURGA



#### ANEXO 11.1.5.2. MONITOREO Y DESCARGA DE LODOS INSTALADO



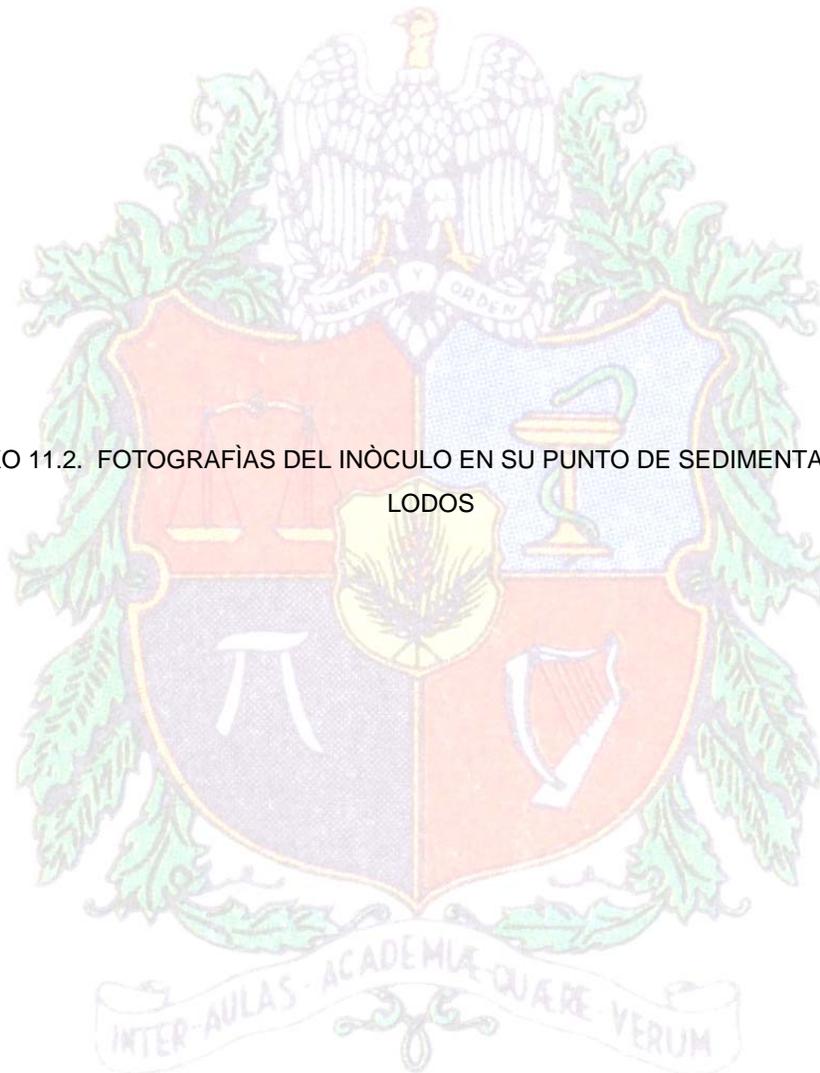
## ANEXO 11.1.5.3.a. DISEÑO DE LAS FLAUTAS PARA LOS PUNTOS DE MUESTREO



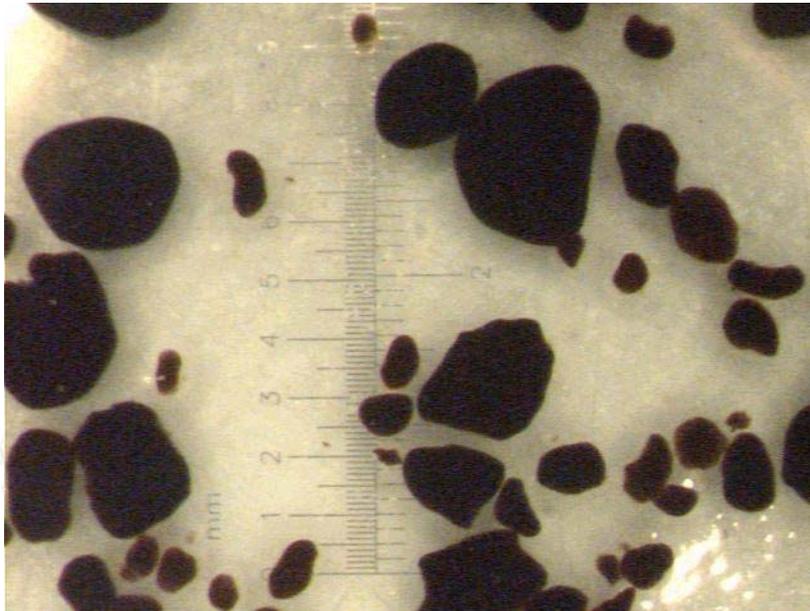
## ANEXO 11.5.1.3.b. DISEÑO DE LAS FLAUTAS PARA LOS PUNTOS DE MUESTREO



ANEXO 11.2. FOTOGRAFÍAS DEL INÓCULO EN SU PUNTO DE SEDIMENTACION DE  
LADOS

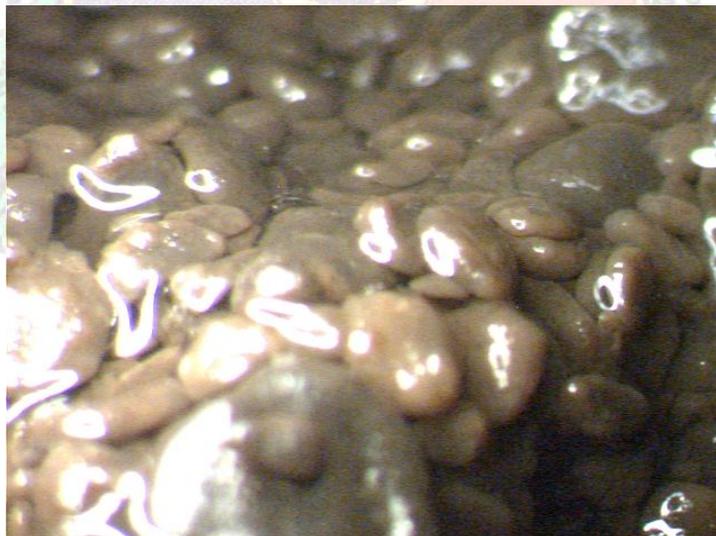


### ANEXO 11.2.1. TAMAÑO DEL LODO EN mm

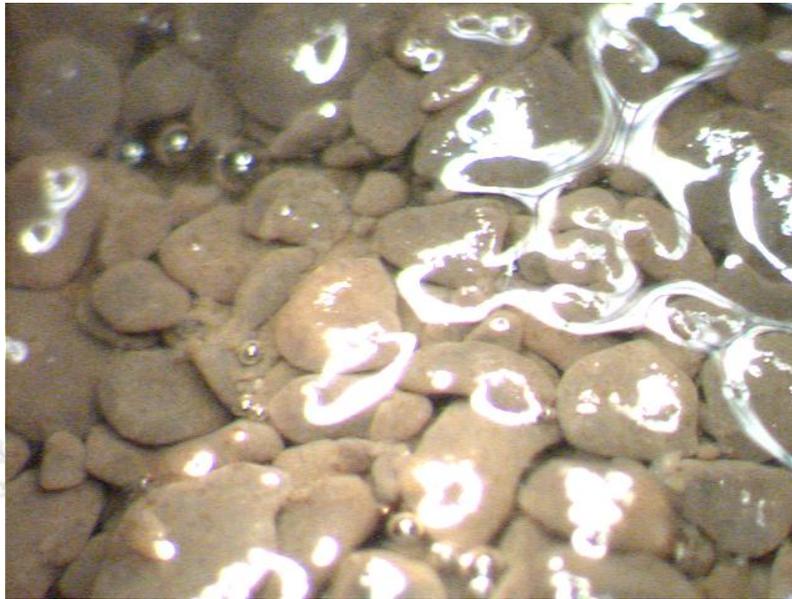


FUENTE: FABRICA DE CAFÉ LIOFILIZADO REACTORES U. A. S. B.  
INGENIERO JOSE LUIS OCAMPO PEREZ

### ANEXO 11.2.2.a. COHESIVIDAD DEL LODO



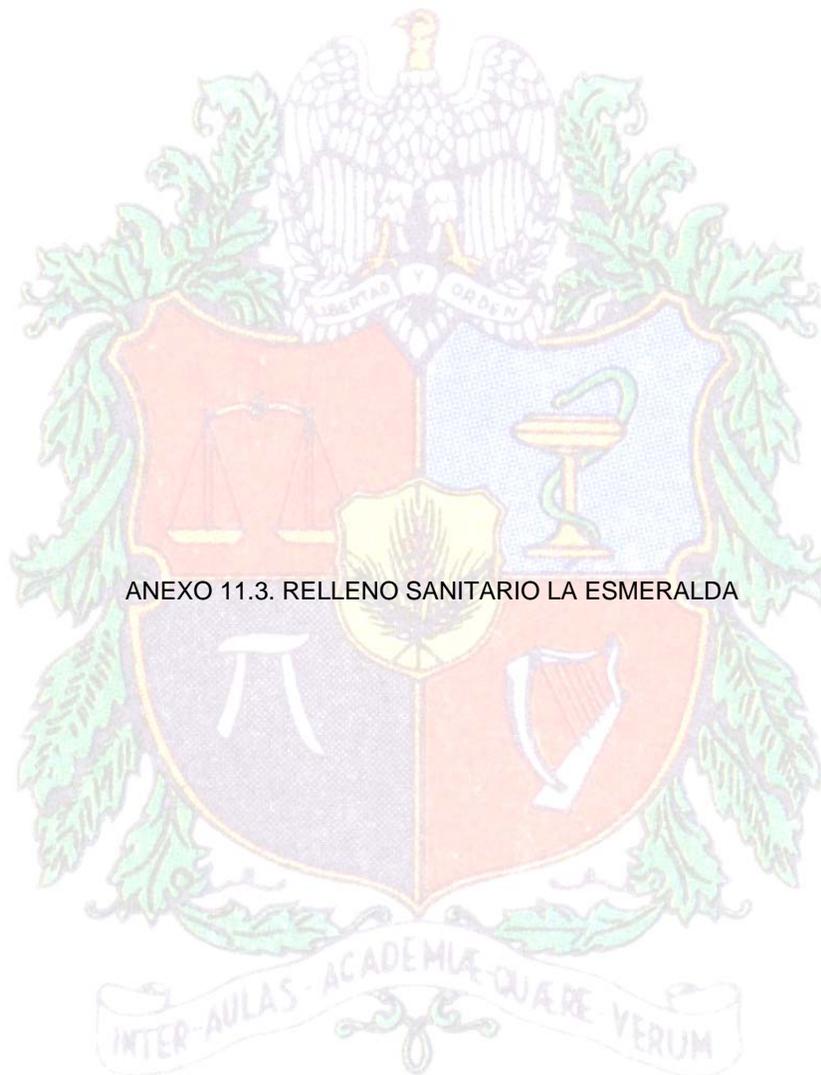
FUENTE: FABRICA DE CAFÉ LIOFILIZADO REACTORES U. A. S. B.  
INGENIERO JOSE LUIS OCAMPO PEREZ

**ANEXO 11.2.2.b. COHESIVIDAD DEL LODO**

FUENTE: FABRICA DE CAFÉ LIOFILIZADO REACTORES U. A. S. B.  
INGENIERO JOSE LUIS OCAMPO PEREZ

**ANEXO 11.2.2.c. COHESIVIDAD DEL LODO**

FUENTE: FABRICA DE CAFÉ LIOFILIZADO REACTORES U. A. S. B.  
INGENIERO JOSE LUIS OCAMPO PEREZ



ANEXO 11.3. RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA

### **11.3.1. DENSIDAD DE COMPACTACIÓN DE LOS SITIOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA**

La densidad de compactación de residuos en el relleno es de mínimo 1 (una) tonelada por metro cúbico. Se destaca el hecho que en el sitio existe suficiente cantidad de material de cobertura para atender las cantidades requeridas de ella para los residuos sólidos. El requerimiento de material de cobertura para todos los sitios es de 516300 m<sup>3</sup> representado en 5163 días, equivalente a 18 años.

La densidad de compactación de residuos en el relleno es de mínimo 1 (una) tonelada por metro cúbico. Se destaca el hecho que en el sitio existe suficiente cantidad de material de cobertura para atender las cantidades requeridas de ella para los residuos sólidos.

### **11.3.2. LA PREPARACIÓN DEL SITIO**

La preparación del sitio consiste en la construcción de la infraestructura necesaria para que éste pueda funcionar adecuadamente como un Relleno Sanitario, así:

**11.3.2.1. CERCAS:** A lo largo de todo el perímetro de la finca La Esmeralda se colocó una cerca del tipo alambre de púas con postes de madera. El mantenimiento y la reparación de esta cerca se realiza así: Los postes para las cercas son de madera redonda con una longitud de 1,80 m libres, un diámetro mínimo de 10 cm y enterrados en una profundidad de 40 cm. Los postes deben ser de madera sana, rectos, sin partes carcomidas ni rajaduras. La distancia entre postes no es mayor de 2,5 m y éstos deben colocarse verticales y alineados por el lado en que vaya a fijarse el alambre de púas. Además, el alambre debe ser de dos (2) hilos retorcidos, de acero galvanizado calibre 12,5 ASW, con púas de 2 ó 4 puntas de alambre de acero galvanizado No. 9 y longitud entre 1.0 y 1.5 pulgadas. Se deben colocar siete (7) líneas de alambre con separaciones entre si y entre la línea más baja y la superficie del terreno de 25 cm. En los postes de esquina y de anclaje se deben usar al menos dos grapas para fijar el alambre. Los postes terminales, de esquina y de anclaje deben "arriostrarse".

**11.3.2.2. VÍAS DE ACCESO:** Las vías de acceso construidas son de 8 m de ancho y del tipo no pavimentado, o sea, con una capa de afirmado de 25 cm de espesor como mínimo. Las descargas de las alcantarillas y cunetas se orientan de tal forma que no producen erosión en el suelo adyacente. Aparte de esto, la superficie de rodadura se mantiene

pareja de tal forma que los vehículos pueden transitar sin inconvenientes. Para lograr esto se ha concebido la utilización de una motoniveladora de uso parcial.

**11.3.2.3. CASETA DE PORTERÍA Y BÁSCULA:** Para controlar el acceso de vehículos y personas al Relleno Sanitario y para registrar el pesaje y descripción de los desechos que llegan al Relleno Sanitario se instaló una caseta y una báscula. La báscula a fin de tomar los datos de pesaje con una capacidad para 50 toneladas, con plataforma de 3.0 m x 15.3 m y equipo electrónico para pesaje y registro.

**11.3.2.4. INSTALACIONES DE MANTENIMIENTO:** Para parqueo del equipo del Relleno Sanitario y para ejecutar trabajos rutinarios de mantenimiento se cuenta con una caseta cubierta de 10 m x 55 m y un patio pavimentado de 900 m<sup>2</sup>, los cuales están ubicados dentro de la finca La Esmeralda. Fuera de esto, la caseta de portería cuenta con energía y teléfono y las instalaciones de mantenimiento disponen además de los servicios anteriores, de acueducto y servicios sanitarios. Las aguas residuales de la caseta de mantenimiento son conducidas a una planta de tratamiento.

**11.3.2.5. LAVADERO, ENGRASE Y CAMBIO DE ACEITE DE VEHÍCULOS:** Dentro de las instalaciones de mantenimiento, sobre el patio, se encuentra ubicado un sistema para lavado, engrase y cambio de aceite de los vehículos recolectores. Este sistema consiste de un cárcamo de fácil acceso para hacer mantenimiento en la parte inferior de los vehículos. El agua para este servicio es tomada de la quebrara Aguas Frías y es conectada a una hidrolavadora a alta presión. Las aguas residuales del lavado de los vehículos son conducidas a unos tanques de sedimentación.

### **11.3.3. CONTROL DE GASES**

El gas es producido por la descomposición de los desechos sólidos. La cantidad generada depende del tipo de desecho, siendo más alta para residuos que contienen alto porcentaje de materia orgánica fácilmente degradable.

La rata de producción de gases depende de los siguientes factores:

- Contenido de humedad
- Temperatura

➤ Tamaño de las partículas de los desechos

En condiciones normales, un alto contenido de humedad, alta temperatura y un tamaño pequeño de las partículas de los desechos tienden a aumentar la producción de gases. Se considera como rango típico en la producción de gases, velocidades entre 20 y 40 mililitros por día por kilogramo de desechos sólidos.

Los principales gases que se producen en el Relleno Sanitario son metano y dióxido de carbono. También se presentan otros gases en cantidades pequeñas, algunos de los cuales son olorosos. Inicialmente el gas predominante es el dióxido de carbono; una vez comienza la producción de metano, este  $\text{CO}_2$  constituye aproximadamente el 50% del volumen de gases producidos en el Relleno.

Los gases del Relleno Sanitario se queman en la superficie. Para ello se construyen filtros horizontales y chimeneas verticales llenos de piedra a través de los cuales fluye el gas.

La producción de gases se reducirá cuando se coloque la capa impermeabilizante final que prevendrá la percolación del agua lluvia al Relleno. Como se mencionó anteriormente, un contenido de humedad alto propicia una mayor producción de gases.

#### **11.3.4. DESARROLLO Y LA ADECUACIÓN INICIAL DE LOS SITIOS**

El desarrollo del relleno se hará en dos etapas así:

La primera etapa se desarrollará en el sitio A, el cual tiene capacidad de almacenar desechos por aproximadamente once (11) años más. La segunda etapa se desarrollará en el sitio B, el cual tiene capacidad por aproximadamente cinco (5) años. Las etapas a seguir en el desarrollo y adecuación inicial de los sitios son las siguientes:

- a) Construcción de la cerca perimetral.
- b) Construcción de la carretera de acceso para el sitio A.
- c) Construcción caseta de portería para el sitio A e instalación de la báscula.
- d) Descapote de la superficie del sitio A y disposición del mismo en el lugar indicado en los planos.
- e) Construcción caseta de mantenimiento para el sitio A.

- f) Movimiento de tierras e impermeabilización de la base del sitio A.
- g) Construcción de drenes principales de lixiviado e inicio de chimeneas para gases en el sitio A.
- h) Restauración de todas las áreas alteradas y creación de zonas verdes mediante la colocación de gramados y siembra de árboles y plantas.
- i) Construcción de pozos monitores de aguas subterráneas.
- j) Colocación de desechos en el sitio A, a una densidad mínima de 1000 kg / m<sup>3</sup> y de manera organizada mediante franjas de trabajo y terrazas de 5 metros de altura.
- k) Cobertura de residuos, nueva construcción de filtros y continuación de chimeneas.
- l) Cobertura final del sitio A.

Estas mismas operaciones con excepción de algunas deberán ejecutarse en el sitio B en la forma indicada en los planos. Téngase en cuenta que las casetas de portería y mantenimiento, al igual que la báscula pueden ser utilizadas para el sitio B.

Durante el movimiento de tierras en el sitio A deben tomarse las precauciones necesarias relacionadas con la intersección del nivel freático para lo cual fueron construidas zanjas provisionales que permitan su abatimiento durante la construcción y filtros definitivos una vez alcanzados los niveles finales de excavación.

En el sitio B no se espera interceptar el nivel freático durante las excavaciones pero si así sucede deberá procederse en forma similar a la ya descrita para el sitio A.

#### 11.3.5. EQUIPOS PARA LA OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

El equipo requerido para la operación del Relleno Sanitario de la Ciudad de Manizales es el siguiente:

EQUIPO	FUNCIÓN	UN.
Tractor de cadenas D5B con hoja topadora o similar	Excavación, acarreo, colocación y compactación del material de cobertura y de los residuos sólidos en el sitio de disposición final.	1

Acarreo de desechos en épocas de lluvias desde el sitio donde

Retroexcavadora cargadora	descargan los carros recolectores hasta el frente del trabajo. Regar basuras en horas pico. Excavar y cargar volquetas con material de cobertura desde sitios lejanos al frente de trabajo.	1
Carro tanque de 2000 litros	Control de polvo e incendios	1
Una volqueta convencional	Transporte de personal, equipos menores, herramientas y materiales como afirmado y piedra. También puede usarse para llevar material de cobertura a las celdas cuando la distancia de acarreo es superior a los 100 m.	1
Báscula	Pesaje de los desechos	1

Al equipo de uso continuo en el Relleno Sanitario se le practica todas las medidas rutinarias de mantenimiento.

#### **11.3.6. PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DEL RELLENO SANITARIO**

Las puertas del relleno permanecen cerradas siempre que no haya operación. Los carros recolectores de EMAS y los vehículos particulares previamente autorizados, una vez lleguen al relleno deben dirigirse inicialmente a la báscula para proceder al pesaje. Posteriormente se desplazan al sitio de disposición en la forma que lo indiquen las señales de tránsito y una vez que llegan a dicho sitio, el vigilante les indica el sitio exacto donde deben depositarse los desechos.

Después de descargar los desechos, los vehículos particulares retornan nuevamente a la báscula para pesarlos vacíos y poder establecer por diferencia de pesos el peso real de los desechos sólidos llevados al relleno. Los carros recolectores de EMAS solo tienen que pesarse vacíos la primera vez para establecer su tara. Seguidamente los vehículos de EMAS continuarán su ruta de recolección o se dirigirán hacia la zona de mantenimiento si así lo requieren.

El relleno esta construido como una serie de celdas contiguas distribuidas en franjas de aproximadamente 10 metros de ancho y estas franjas están contenidas en terrazas de 5 a 8 metros de altura. Cada franja esta cubierta en la parte superior con una capa de tierra de 60 cm de espesor y los costados laterales con un capa de tierra de 20 cm de espesor. La capa superior e encuentra adecuadamente compactada con el paso del tractor.

Los desechos son descargados muy cerca al sitio donde van a ir finalmente colocados y allí se examinan para detectar si hay material sobre el cual se haya iniciado un incendio. En caso de peligro de incendio se separa temporalmente el material iniciado y se rocía con agua o cubre con tierra para apagarlo. También se rocía agua en la zona de los trabajos para controlar el polvo en épocas de intenso verano.

Los materiales producto de demoliciones pueden utilizarse para el mejoramiento del piso de los caminos interiores o para el acondicionamiento de áreas húmedas.

Los desechos deben esparcirse en dirección de abajo hacia arriba y en forma homogénea, comenzando desde la base de la celda y en capas de espesor no superior a 60 cm. El equipo compactador debe hacer suficientes pasadas (al menos 4) hasta alcanzar una densidad no menor de  $1000 \text{ kg} / \text{m}^3$ .

Se siguen colocando capas sucesivas de desechos hasta completar una capa única compactada de 5 a 8 m de altura aproximadamente, la cual debe cubrirse con una capa de tierra de 60 cm de espesor. El nivel superior de cada celda debe inclinarse adecuadamente para facilitar el drenaje del área.

La capa de cobertura debe aplicarse y compactarse adecuadamente y con anterioridad al desarrollo de las celdas siguientes sobre la parte superior y los taludes laterales a medida que va progresando la construcción de la misma.

Las operaciones de esparcimiento, compactación y cobertura de los desechos sólidos es ejecutada tan pronto como sea posible después de que éstos son descargados en el sitio.

El frente de trabajo debe mantenerse tan reducido como sea posible, aproximadamente 10 metros, mientras éste permita la adecuada circulación de vehículos y equipo.

En general el material de cobertura excavado puede acarrear hasta el área de operación y hacer la correspondiente cobertura después de que los desechos estén compactados. Con anterioridad a las épocas lluviosas se deben realizar las excavaciones necesarias para proveer material de cobertura para un mes de operación. Este material se deposita en las zonas contiguas al área de operación para su uso en épocas lluviosas cuando la excavación se dificulta.

### **11.3.7. LA PREVENCIÓN DE MOLESTIAS**

**11.3.7.1. ESPARCIMIENTO DE PAPELES.** Los papeles, plásticos u otros materiales que logren escapar son recogidos manualmente para mantenerse las superficies terminadas lo más limpias posibles.

**11.3.7.2. POLVO.** Cuando las condiciones tienden a generar polvo, ya sea en la zona de descarga de los desechos o en la propia zona de operación, debe rociarse agua en cantidad suficiente para evitar el polvo pero tampoco tanta que genere lodo. En épocas de verano también se rocía con agua todas las áreas sometidas a tráfico tales como vías y zonas de excavación, acarreo y distribución de material de cobertura. Las áreas de relleno recién cubiertas son también rociadas con agua si ellas llegan a ser fuentes productoras de polvo. Asimismo, el agua para estas operaciones es transportada y aplicada por un carro tanque. Donde no sea posible el acceso del carro tanque el rociado se efectúa con mangueras.

**11.3.7.3. INCENDIOS.** El método ideal para la extinción de incendios es sofocándolos con tierra. El agua del sistema de acueducto también es efectiva. Todo el equipo que opere en el relleno sanitario deberá estar provisto de extintores para pequeños incendios.

**11.3.7.4. ROEDORES, INSECTOS Y PLAGAS.** Los problemas causados por los roedores e insectos se pueden eliminar con el material de cobertura y una compactación adecuada que limita el acceso de moscas al relleno y previene su migración al exterior; sin embargo, si se hace necesario, se aplica con frecuencia diaria y minuciosa un insecticida de efectividad conocida para el control de moscas. Igualmente es necesaria la verificación periódica a fin de que no haya presencia de roedores o madrigueras de los mismos, caso en el cual se debe iniciar un proceso de desratización. El material de

tipo granular tiene la propiedad de evitar las excavaciones que hacen los roedores a través de los desechos en busca de alimento.

#### **11.3.8. MONITOREO Y ANÁLISIS A SEGUIR PARA EL CONTROL DEL RELLENO SANITARIO**

Para el seguimiento y mejoramiento del sistema de tratamiento de lixiviados instalado en el Relleno Sanitario La Esmeralda, se realizan caracterizaciones constantes en el laboratorio de aguas residuales adquirido para tal fin. Las frecuencias de las caracterizaciones nunca son inferiores a las exigidas en el Plan de Manejo Ambiental aprobado.

#### **11.3.9. MANEJO DE LOS DESECHOS ESPECIALES**

Ciertos tipos de desechos sólidos requieren un tratamiento especial en su disposición; otros tipos pueden aprovecharse ventajosamente dentro del relleno y deben separarse. Los siguientes tipos de desechos sólidos requieren operación especial:

**11.3.9.1. Animales muertos.** El tratamiento ideal para este tipo de residuos es la incineración, en el que se incluyen desechos de la central de sacrificio (matadero) y carnicerías; este es un proceso de combustión controlada que transforma los residuos sólidos en materiales inertes (cenizas) y gases. No es un sistema de eliminación total, pues genera cenizas, escorias y gases, pero determina una importante reducción en el peso y volumen de las basuras originales. Por otra parte, la incineración proporciona la manera de destruir de una manera segura y sencilla algunos residuos que pueden ser un peligro para la comunidad y el medio, como por ejemplo, los residuos hospitalarios y tóxicos (insecticidas, herbicidas, rodenticidas, etc.).

**11.3.9.2. Llantas y colchones.** Estos desechos deben colocarse en o cerca al fondo de la celda. Estos deben compactarse hasta conseguir la máxima reducción de volumen posible. Los desechos sólidos situados al rededor de los desechos voluminosos deben sobrecompactarse con el fin de impedir la recuperación de volumen de los desechos no voluminosos y de compensar el grado de compactación final.

**11.3.9.3. Escombros de demoliciones.** Los desechos granulares no putrefactos como los productos de demoliciones, se utilizan para almacenarlos en la construcción de vías temporales, particularmente aquellas de servicio en épocas lluviosas. Materiales tales

como madera con clavos deben retirarse manualmente de los escombros de demolición para prevenir perforaciones en las llantas.

**11.3.9.4. Lodos desecados procedentes de plantas de tratamiento de aguas negras.** Los

lodos desecados procedentes de plantas de tratamientos no peligrosos y bien digeridos se disponen en el relleno exitosamente si se mezclan con desechos sólidos más secos antes de su compactación. Un lodo bien digerido no debe ser volátil ni causar problemas de olores. Algunos estudios han indicado que la disposición de lodos desecados en volúmenes no mayores del 20% del volumen de desechos sólidos, pueden realizarse satisfactoriamente sin reducción del volumen del relleno. Aparentemente el lodo es forzado a ocupar los vacíos de los desechos sólidos compactados que de otra manera estarían ocupados por aire. Otros lodos estabilizados no peligrosos no pueden aceptarse en el relleno. Los lodos procedentes de plantas de tratamiento a base de alumbre no son aceptados debido a la dificultad para su desecación. Ningún desecho líquido o peligroso debe aceptarse. A todos los desechos que tengan posibilidad de portar sustancias peligrosas se les ejecutan análisis químicos periódicos previos.

**11.3.9.5. Recortes de césped.** El producto de la poda de céspedes debe separarse de otros

desechos y llevarse al sitio en camiones diferentes. Estos desechos se almacenan en un lugar conveniente alejados de las instalaciones. Las pilas de almacenamiento son mezcladas semanalmente para acelerar el compostaje y reducir los refugios de los roedores. El césped compostado puede utilizarse como abono con la cobertura final, o la hierba puede utilizarse sin compostar como elemento para prevenir la erosión. Ningún material que contenga materia putrefacta debe ser compostado o regado para el control de la erosión. Se recomienda que la grama no sea incorporada al relleno propiamente dicho debido a la dificultad de compactarla y los grandes asentamientos que genera.

**11.3.10. OPERACIÓN EN CONDICIONES ADVERSAS**

En los rellenos sanitarios, las condiciones adversas están asociadas básicamente con períodos de lluvias, por lo cual es necesario que el operador del relleno ejecute, al menos, el siguiente plan que ha dado excelentes resultados en otros rellenos sanitarios.

- ✓ Mantenimiento permanente de las vías de acceso para que los vehículos recolectores puedan entrar al relleno sanitario sin dificultades.
- ✓ Durante las épocas de lluvia en los sitios de descarga deben asignarse todas las operaciones a los equipos sobre orugas los cuales, por transmitir bajas presiones al suelo, no forman surcos ni huellas profundas como los equipos de ruedas.
- ✓ Los sitios de descarga y de extracción de material de cobertura deben mantenerse bien drenados para lo cual el operador debe construir por su cuenta todos los elementos provisionales tales como zanjas, cunetas, etc. que sean necesarias.
- ✓ Antes de empezar una temporada lluviosa debe llevarse y apilar cerca a los sitios de disposición (donde realmente se pueda y no interfiera las demás operaciones), suficiente material de agregado para mantenimiento de la zona de descargue y para la construcción de drenes de lixiviado y gases. La experiencia demuestra que en períodos de invierno puede ser muy difícil transportar estos materiales.
- ✓ El operador debe organizar la extracción del material de cobertura de tal manera que, durante las épocas de lluvias, se tenga que hacer las mínimas maniobras con el equipo y los acarreos más cortos.
- ✓ Se debe reparar a la mayor brevedad posible las cárcavas que resulten en taludes naturales sobre suelo y artificiales sobre basura, con lo cual se evita la formación de lodazales y quizás derrumbes de importancia, debido a la desestabilización de los taludes por el efecto del agua. Aquellos taludes artificiales que no alcancen a cubrirse con grama en las épocas de verano, deben protegerse con otro material vegetal (por ejemplo, reportes de rastrojo y maderas), lo cual disminuirá el efecto de la fuerza de impacto de las gotas de agua, los tiempos de concentración y su velocidad y por lo tanto su poder erosivo.

#### **11.3.11. LOS ASENTAMIENTOS**

Es normal que se presenten asentamientos durante y después de la operación del Relleno. Las magnitudes de los asentamientos dependen de factores tales como el grado de compactación, contenido de humedad de los desechos, grado de infiltración de agua, proporción de materia orgánica degradable en los desechos y en la altura del relleno.

Se han presentado casos de asentamientos totales de rellenos de más del 25% pero éstos se concentran, por lo general durante la fase de construcción.

Es necesario entonces dar mantenimiento a la capa de cobertura final para sellar las grietas y depresiones que se presentan como consecuencia de los asentamientos.

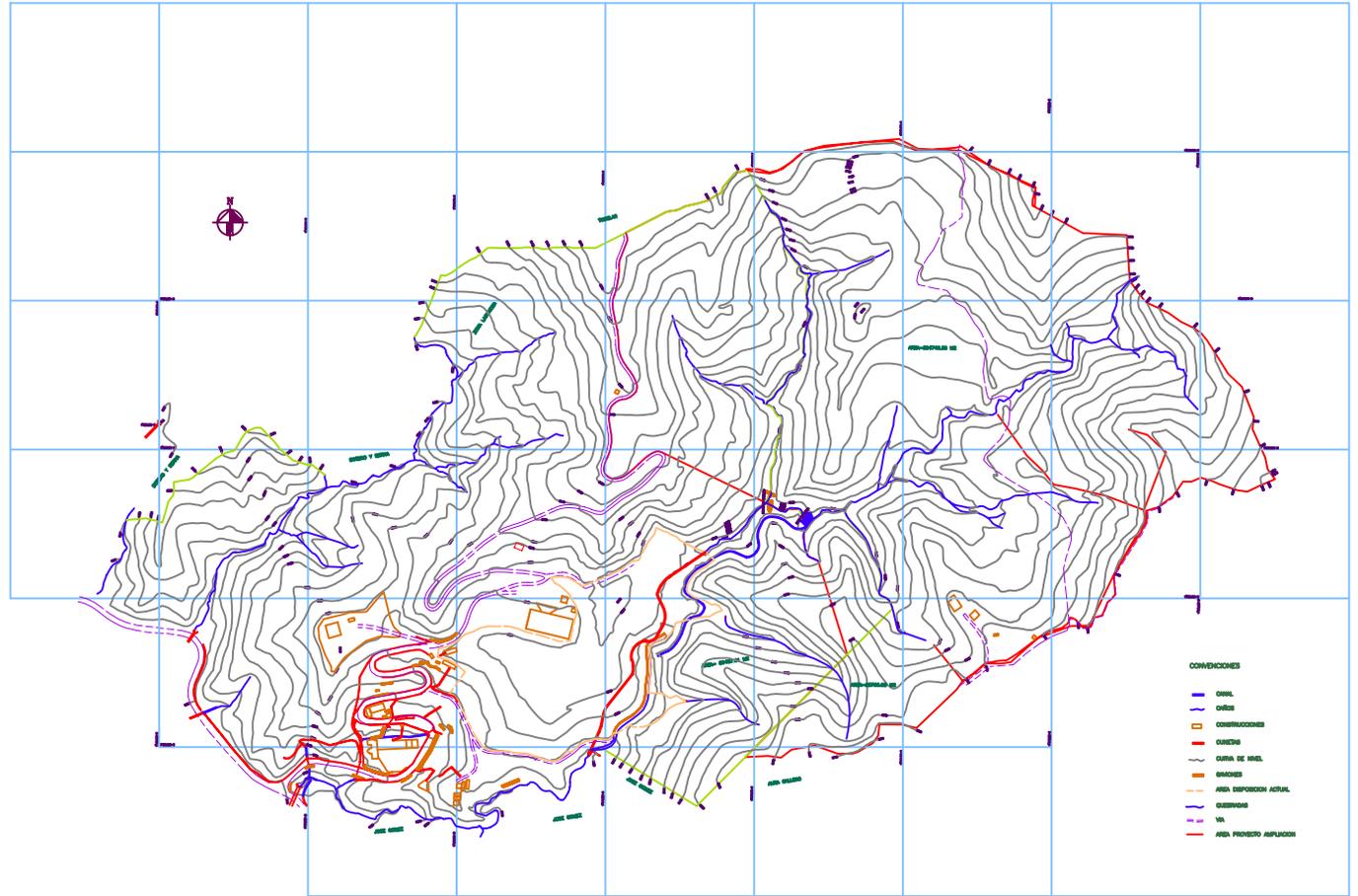
#### **11.3.12. PROCEDIMIENTO PARA LA FINALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO**

Una vez se complete la última celda en cada fase y se haya efectuado la nivelación y cobertura con la capa de suelo compactado de 60 cm de espesor, se aplica a continuación una capa de suelo vegetal de 20 cm de espesor sobre la cual se coloca posteriormente grama. Todas las áreas del relleno así terminadas son inspeccionadas trimestralmente durante el primer año para verificar si se presentan resquebrajamiento o irregularidades en la superficie. Asimismo, cualquier irregularidad que se presente en el terreno deberá ser nivelada y corregida a la mayor brevedad posible.

#### **11.3.13. USO FINAL DEL RELLENO SANITARIO**

El uso final del relleno sanitario será para zonas de reserva, lo cual puede incluir la construcción de un parque ecológico con instalaciones recreativas como canchas de fútbol, baloncesto, etc.





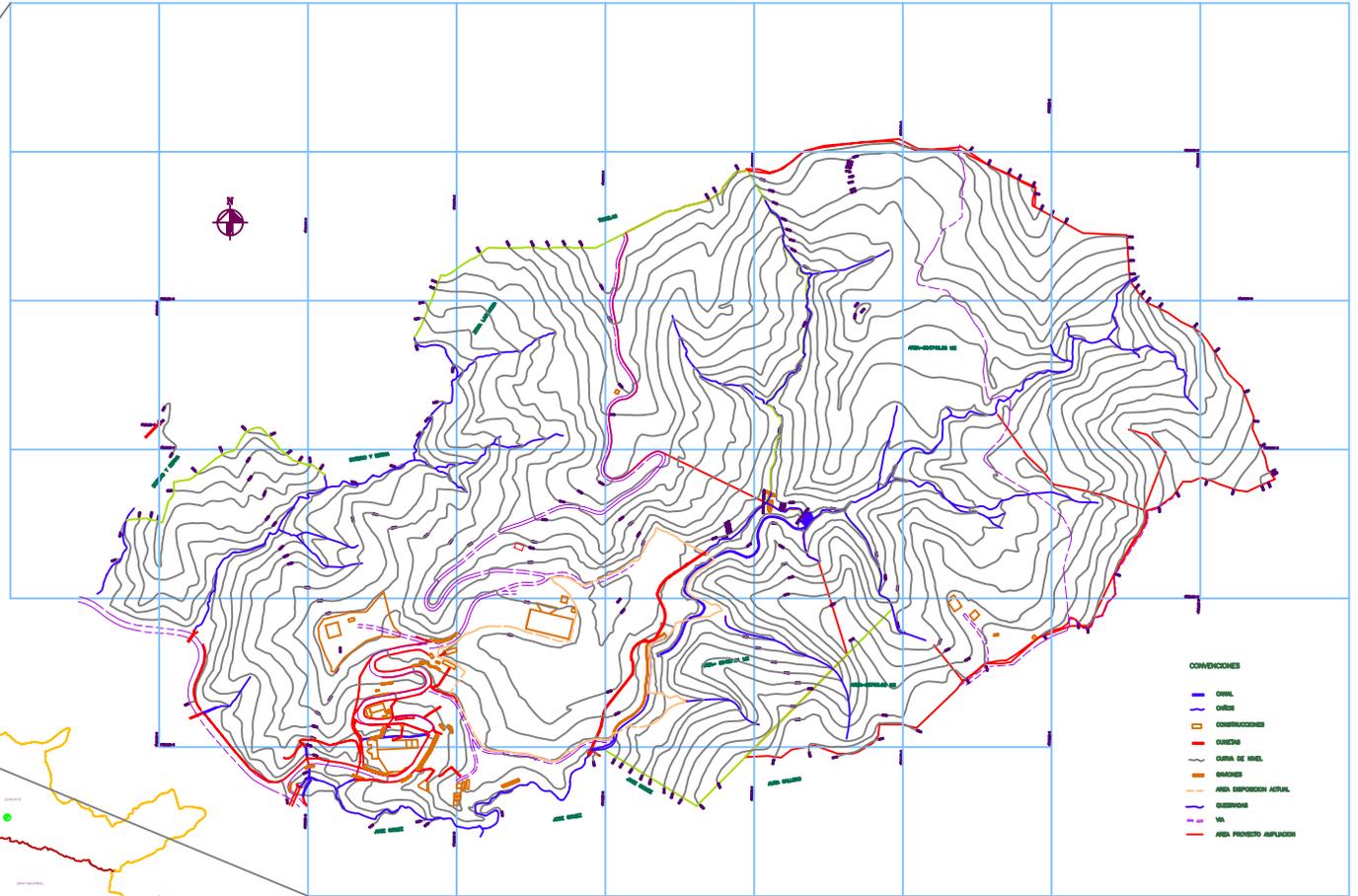
PROYECTO: <b>MEDIO AMBIENTE INGENIERIA LTDA.</b>	LEVANTO: <b>MEDIO AMBIENTE INGENIERIA LTDA.</b>	ESCALA: <b>SIN</b>	PROYECTO: <b>AMPLIACION RELLENO SANITARIO REGIONAL LA ESMERALDA</b>	PLANO N° : <b>1</b>
APROBO: <b>Ing. NELSON GONZALEZ HOYOS</b>	DIBUJO: <b>C.A.O.G.</b>	FECHA: <b>ENERO DE 2003</b>	CONTIENE: <b>LOCALIZACION GENERAL</b>	

NORBEY CASTRO GIL. NELSON DE J. GONZALEZ  
 MAT. 1720-32175 MAT. TP. 1612

MUNICIPIOS USUARIOS DEL RELLENO  
SANITARIO REGIONAL LA ESMERALDA



MUNICIPIO DE MANIZALES  
CONTEXTO GEOGRAFICO DEL RELLENO  
SANITARIO EN EL AREA URBANA



- CONVENCIONES
- CERRIL
  - CERRIL
  - CONTRACCIONES
  - CURVAS
  - CURVA DE RIEL
  - GRABES
  - AREA DEPOSITON ACTUAL
  - GUBERNIO
  - VA
  - AREA PROYECTO AMPLIACION



PROYECTO:  
MEDIO AMBIENTE INGENIERIA LTDA.

APROBO:  
Ing. NELSON GONZALEZ HOYOS

LEVANTO:  
MEDIO AMBIENTE INGENIERIA LTDA.

DIBUJO:  
C.A.O.G.

ESCALA:  
SIN

FECHA:  
ENERO DE 2003

PROYECTO:  
AMPLIACION RELLENO SANITARIO  
REGIONAL LA ESMERALDA

CONTIENE:  
LOCALIZACION GENERAL

PLANO N° :  
1



#### **11.4.1. PRUEBAS DE HEMETICIDAD EN EL LABORATORIO**

En el laboratorio se efectúan pruebas de acuerdo con las normas ASTM F 794 y ASTM D 3212 que soportan esta afirmación, pues simulan su comportamiento asociado al uso en condiciones extremas. Estas pruebas incluyen prueba neumática de la tubería y pruebas de presión hidráulica interna y de vacío a las uniones.

#### **11.4.2. FLEXIBILIDAD**

Los tubosistemas para alcantarillado NOVALOC PAVCO por ser flexibles, aseguran excelente comportamiento a los movimientos del suelo, sismos y asentamientos diferenciales, brindando estabilidad al sistema. La pared externa lisa asegura un adecuado contacto entre el suelo y la tubería con baja fricción entre ellos.

La rigidez de la tubería se determina en el laboratorio, de acuerdo a la norma ASTM D 2412 al 5 % de la deflexión. La rigidez de la tubería más la rigidez del suelo que la rodea, aportan la resistencia estructural necesaria para soportar las cargas de diseño, conservando las ventajas de su flexibilidad.

El aplastamiento se mide al someter muestras de tubería de 12 " de largo en platos paralelos, bajo una rata de carga uniforme, de tal forma que, la compresión al 60 % del diámetro original sea completada en un tiempo de 2 a 5 minutos. Las muestras no deben mostrar rajaduras, roturas, separación de engrapes o paredes o corrugarse cuando es observada bajo luz normal a simple vista. Pequeñas rasgaduras pueden presentarse en la zona de corte y no constituyen falla. El máximo punto de carga no debe estar por debajo de la fuerza obtenida al 30 % de la deflexión.

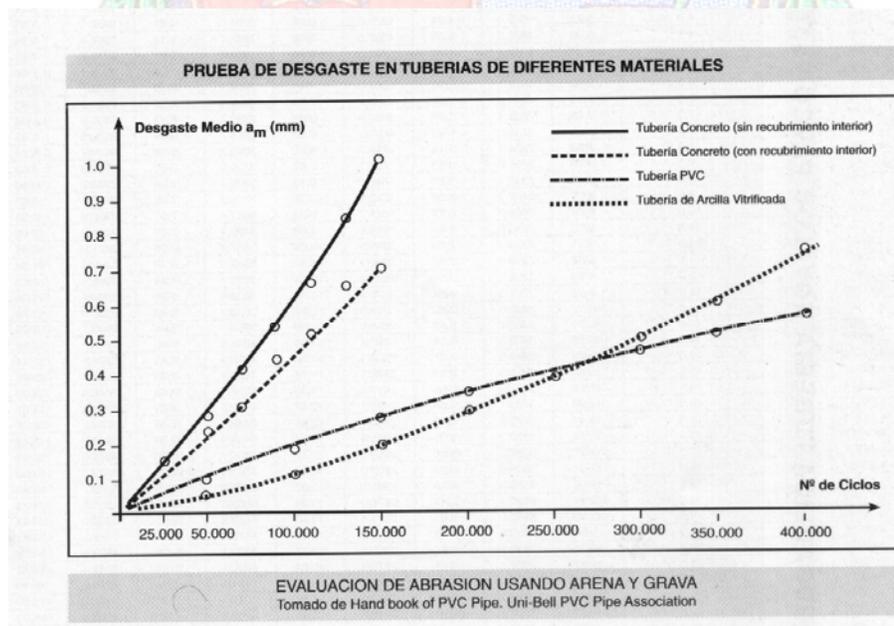
#### **11.4.3. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN**

Debido a la naturaleza de las tuberías de PVC y el proceso de abrasión se presenta gradualmente sobre una gran área en lugar de desarrollar puntos localizados, como en la mayoría de otros materiales, que causan falla rápida.

Pruebas de abrasión realizadas por el Instituto Darmstadt (Alemania), usando grava y arena de río sobre diferentes tuberías produjo los siguientes resultados:

TIPO DE TUBERÍA	RESULTADO	ADELGAZAMIENTO DE PARED
Concreto sin recubrimiento interno.	Desgaste medible a los 150000 ciclos.	1 mm, 150000 ciclos.
Concreto con recubrimiento interno.	Desgaste medible a los 150000 ciclos, pero menos desgaste que sin recubrimiento.	0.7 mm. 150000 ciclos.
Arcilla vitrificada.	Mínimo desgaste a 260000 ciclos. Se acelera el desgaste cuando se pierde el verificado.	0.75 mm, 400000 ciclos.
PVC.	Mínimo desgaste a 260000 ciclos. Similar que con arcilla vitrificada pero menos acelerado.	0.75 mm, 400000 ciclos.

#### 11.4.4. PRUEBA DE DESGASTE EN TUBERÍAS DE DIFERENTES MATERIALES



#### 11.4.5. ÓPTIMO COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

La pared interior lisa de los tubosistemas de alcantarillado NOVALOC PAVCO, significa baja resistencia al flujo dando como resultado mayor capacidad hidráulica permitiendo menores pendientes y diámetros de diseño (menor movimiento de tierra, transporte, etc.), lo que a su

vez se traduce en reducción de costos del sistema. El coeficiente de Manning recomendado es de 0.010 para diseño

#### 11.4.6. RESISTENCIA AL IMPACTO

De acuerdo con la norma ASTM F 794 se hacen ensayos que dan como resultado una resistencia al impacto de 220 lb pie sin presentar fractura. La pared externa lisa protege la pared interior, evitando el contacto con el material de relleno, protegiéndola de impactos y concentraciones de esfuerzos.

Esta característica permite la manipulación durante el transporte y la instalación sin presentar roturas ni daños, disminuyendo el desperdicio de obra.

#### 11.4.7. FACILIDAD DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tubos más largos y livianos permiten una manejo fácil y rápido en la etapa de transporte, almacenamiento e instalación.

- Reducción de costos en transporte y equipos.
- Facilidad y rapidez de manipulación e instalación. Altos rendimientos.
- Reducción de personal necesario y de equipos pesados en obra.
- Reducción de riesgo de accidentes de trabajo.

#### 11.4.8. COMPARATIVO DE PESO NOVALOC vs. OTROS MATERIALES

DIÁMETRO NOMINAL	NOVALOC	CONCRETO CLASE I	CONCRETO CLASE II	GRES	GRP PNG – SN 2500
Mm	Peso en Kg / m				
600	15.75	392	392	280	31
700	21.94	504	508	330	42
800	24.91	632	636	390	55
850	31.11	-	792	-	-
900	27.87	788	792	-	69
1000	36.76	988	996	-	85

Los tubosistemas para alcantarillado NOVALOC PAVCO se ofrecen con unión mecánica para facilidad de instalación, tubos con extremo liso y uniones del mismo material con hidrosellos instalados en fábrica, fáciles de acoplar. No necesitan soldaduras, La pared externa lisa facilita con un mínimo de trabajo de campo el ensamble y seguro hermético. Cada tubo instalado son 6.5 m de tubería instalada.

Con los tubosistemas para alcantarillado NOVALOC PAVCO se pueden usar tanto sistemas convencionales como las modernas tecnologías de limpieza y mantenimiento, sin perjuicio a la integridad de los mismos.



ANEXO 12.1. RESISTENCIA QUÍMICA EN INMERSIONES CORTAS EN COMPOSTOS QUÍMICOS

DESCRIPCIÓN	23°C	60°C	DESCRIPCIÓN	23°C	60°C	DESCRIPCIÓN	23°C	60°C	DESCRIPCIÓN	23°C	60°C
Aceite de lubricantes	E	E	Bromuro de potasio	E	B	Hidrógeno	E	E	Sulfato de magnesio	E	E
Aceites minerales	E	B	Bromuro de sodio	I	I	Hidróxido de aluminio	E	E	Sulfato de metilo	E	R
Aceites y grasas	E	B	Butadieno	R	NR	Hidróxido de amonio	E	E	Sulfato de níquel	E	E
Acetaldehído	NR	NR	Butano	I	I	Hidróxido de calcio	E	E	Sulfato de potasio	E	E
Acetato de etilo	NR	NR	Butileno	E	I	Hidróxido de potasio	E	E	Sulfato de sodio	E	E
Acetato de butilo	NR	NR	Carbonato de calcio	E	E	Hidróxido de sodio	E	E	Sulfato de zinc	E	E
Acetato de plomo	E	E	Carbonato de potasio	B	B	Hipoclorito de calcio	E	E	Sulfato férrico	E	E
Acetato de sodio	E	E	Celulosa	R	NR	Hipoclorito de sodio	E	E	Sulfato ferroso	E	E
Acetileno	I	I	Ciclohexano	NR	NR	Kerosina	E	E	Sulfito de sodio	E	E
Acetona	NR	NR	Ciclohexanol	NR	NR	Leche	E	E	Sulfuro de bario	E	R
Acido acético 80%	B	NR	Cloro acuoso	E	NR	Licor blanco	E	E	Sulfuro de hidrógeno	E	E
Acido acético 20%	E	NR	Cloro húmedo	E	R	Licor negro	E	E	Sulfuro de sodio	E	E
Acido arsénico	E	B	Cloro seco	E	NR	Licor lanning	E	E	Tetracloruro de carbono	NR	NR
Acido benzóico	E	E	Cloruro de aluminio	E	E	Melosas	E	E	Tetracloruro de titanio	B	NR
Acido bromhídrico	E	E	Cloruro de bario	E	E	Mercurio	B	B	Tiocianato de amonio	E	E
Acido carbónico	E	E	Cloruro de calcio	E	E	Metil - etil - cetona	NR	NR	Tiosulfato de sodio	E	E
Acido cianhídrico	E	E	Cloruro de cobre	E	E	Monóxido de carbono	E	E	Tolueno	NR	NR
Acido cítrico	E	E	Cloruro de magnesio	E	E	Nafta	E	NR	Tributilsulfato	NR	NR
Acido clorhídrico 20%	I	I	Cloruro de níquel	E	E	Nicotina	I	I	Tricloruro de fósforo	NR	NR
Acido clorhídrico 50%	E	E	Cloruro de potasio	E	E	Nitrato de aluminio	E	E	Trietanol amina	B	NR
Acido clorhídrico 80%	E	E	Cloruro de sodio	E	E	Nitrato de amonio	E	E	Trióxido de azufre	B	E
Acido esteárico	B	B	Cloruro de zinc	E	E	Nitrato de calcio	E	E	Úrea	E	E
Acido fluorhídrico 10%	E	NR	Cloruro férrico	E	E	Nitrato de cobre	E	E	Vinagre	E	NR
Acido fluorhídrico 50%	E	NR	Cloruro mercúrico	B	B	Nitrato de magnesio	E	E	Vinos	E	E
Acido fórmico	E	NR	Cresol	NR	NR	Nitrato de níquel	E	E	Whisky	E	E
Acido láctico 25%	E	E	Dextrosa	E	E	Nitrato de potasio	E	E	Xleno	NR	NR
Acido nítrico 10%	NR	NR	Dicromato de potasio	E	E	Nitrato de sodio	E	E			
Acido nítrico 68%	NR	NR	Dicromato de sodio	B	R	Nitrato de zinc	E	E			
Acido sulfúrico 10%	E	E	Dióxido de azufre	E	E	Nitrobenzeno	NR	NR			
Acido sulfúrico 75%	E	E	Dióxido de carbono	E	E	Ocenol	I	I			
Acido sulfúrico 90%	NR	NR	Éter etílico	NR	NR	Oleum	NR	NR			
Acido sulfúrico 98%	NR	NR	Fenol	NR	NR	Oxido Nitroso	E	E			
Acidos grasos	E	E	Flúor (gas húmedo)	E	E	Oxígeno	E	E			
Agua de mar	E	E	Formaldehído	E	R	Permanganato de potasio	B	B			
Agua potable	E	E	Freón 12	I	I	Peróxido de hidrógeno	E	I			
Agua regia	R	NR	Fructosa	E	E	Persulfato de amonio	E	E			
Alcohol butílico	B	NR	Frutas (jugos-pulpas)	E	E	Persulfato de potasio	E	E			
Alcohol etílico	E	E	Furfural	NR	NR	Petróleo crudo	E	E			
Alcohol metílico	E	E	Gas natural	E	E	Protasa cáustica	E	E			
Alcohol propílico	B	NR	Gasolina	NR	NR	Propano	E	I			
Amoniaco	E	NR	Gelatina	E	E	Soluciones electrolíticas	E	E			
Benceno	NR	NR	Glicerina o glicerol	E	E	Soluciones fotográficas	E	E			
Bicarbonato de sodio	E	E	Glicol	E	E	Soda cáustica	E	E			
Blanqueador 12,5%	B	R	Glucosa	E	E	Sulfato de aluminio	E	E			
Borax	E	B	Heptano	I	I	Sulfato de calcio	E	E			
Bromo (líquido)	NR	NR	Hexano	NR	I	Sulfato de cobre	E	E			

04-149



NIT. 800.249.174-5  
NUIR 1-17001000-2

Manizales, 9 de septiembre de 2003

Doctor  
JOSE LUIS OCAMPO PEREZ  
Ingeniero de Gestión Ambiental  
Café Liofilizado  
Chinchina

Por medio de la presente, me permito solicitarle comedidamente el suministro de 300 Litros de Lodo Anaerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de sus instalaciones ( Reactores UASB), con el fin de llevar a cabo la inoculación de 2 reactores U.A.S.B. para el proyecto denominado " REMOCION DE MATERIA ORGANICA DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA POR MEDIO DEL REACTOR U.A.S.B. a cargo de los estudiantes Francisco Caicedo Meza y Juan David Molina Ordoñez, el cual se desarrollará dentro de los próximos días en el Relleno Sanitario La Esmeralda operado por la Empresa Metropolitana de Aseo S.A. E.S.P. EMAS

En caso de su aprobación, el Lodo se recogerá el día jueves 11 de Septiembre en horas de la mañana, para lo cual contamos con los recipientes adecuados para el transporte del mismo. Las personas encargadas de esta recolección son:

Juan David Molina Ordoñez c.c. 75.092.716 de Manizales  
Francisco J. Caicedo Meza c.c. 16.076.695 de Manizales  
Valentina López c.c. 24.341.004 de Manizales  
Patricia Mendoza c.c. 22.807.380 de Cartagena

Agradezco de antemano su amable gestión,

Cordialmente,

MARIA LUISA ARBELAEZ PATIÑO  
Directora Técnica



**EMAS**  
EMPRESA METROPOLITANA DE ASEO S.A. E.S.P.

NIT. 800.249.174-5  
NUIR 1-17001000-2

ROBERTO SALAZAR Y CIA.

PARA: Jorge Salazar Gómez. (URGENTE)

ASUNTO A TRATAR:

Filtración en tubería sanitaria Novafort de 30" de diámetro. Se solicita asesoría y revisión de la misma con el fin de sellar las fugas existentes.

FAVOR CONFIRMAR URGENTEMENTE FECHA DE REVISIÓN EN EL LABORATORIO DE LA EMPRESA METROPOLITANA DE ASEO EMAS S. A. E. S. P.

884 – 58 – 68 ext. 111. O con Juan David Molina al cel. No. 310 – 473 – 97 – 88.

Atentamente

*Juan David Molina J.*

JUAN DAVID MOLINA

PRACTICANTE ING. QUÍMICA EMAS