

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD ECONOMICA DE LA OBTENCION DEL GAS  
NATURAL DOMESTICO A TRAVES DE BIODIGESTORES UBICADOS EN EL  
RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA  
(SANTANDER)**

**RAUL CAMACHO PULIDO  
TOMAS ANTONIO PEDRAZA ROMERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DEL GAS  
BUCARAMANGA  
2013**

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD ECONOMICA DE LA OBTENCION DEL GAS  
NATURAL DOMESTICO A TRAVES DE BIODIGESTORES UBICADOS EN EL  
RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA  
(SANTANDER)**

**RAUL CAMACHO PULIDO  
TOMAS ANTONIO PEDRAZA ROMERO**

Monografía para optar el título de Especialista en Ingeniería del Gas

**Director  
ING. EMILIANO ARIZA LEON**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DEL GAS  
BUCARAMANGA  
2013**

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	114
1. MARCO TEÓRICO .....	14
1.1 BIOGÁS .....	14
1.2 CELDA DE BIOGÁS .....	14
1.3 FASES DURANTE LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y GENERACIÓN DE BIOGÁS.....	14
1.4 CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS.....	15
1.5 UTILIZACIÓN DE BIOGÁS EN EL MUNDO .....	16
1.6 UTILIZACIÓN DE BIOGÁS EN COLOMBIA .....	17
1.7 NORMATIVA COLOMBIANA PARA CALIDAD DE BIOGÁS .....	18
1.8 TECNOLOGÍAS EN BIOGÁS .....	18
1.8.1 Producción de biogás .....	18
1.8.1.1 Reactor de mezcla completa sin recirculación.....	18
1.8.1.2 Reactor de mezcla completa con recirculación.....	19
1.8.1.3 Reactor con retención de biomasa, sin recirculación.....	20
1.8.1.4 Sistemas discontinuos .....	23
1.8.1.5 Otros sistemas .....	23
1.8.1.6 Sistemas híbridos .....	24
2. INFORMACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO .....	25
2.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO .....	25
2.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS .....	25
2.3 RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS GENERADOS .....	25
2.4 BIOGÁS GENERADO EN LAS DIFERENTES FASES POR LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA .....	26
2.5 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	26
2.6 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS GENERADO EN LA CELDA DE BIOGÁS .....	32
2.7 PARÁMETROS DE OPERACIÓN .....	32
2.8 COMPOSICIÓN DEL GAS DE SALIDA.....	32
2.9 COSTOS CONSTRUCCIÓN DE CELDAS DE BIOGÁS.....	35
2.10 COSTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE BIOGÁS .....	36
2.11 PRECIO DEL TERRENO.....	39
2.12 COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE BIOGAS.....	39
2.12.1 Costos de Operación .....	40
2.12.2 Costos de Mantenimiento Mensual.....	40
2.13 COSTO TOTAL DE M3 DE GAS TRATADO .....	41

2.14 PRECIO DE VENTA DEL GAS.....	41
2.15 VENTA DE CER MENSUAL .....	41
2.16 UTILIDAD POR M3 DE GAS .....	41
2.17 UTILIDAD NETA ANUAL .....	41
3. CÁLCULOS FINANCIEROS PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	42
3.1 TASA INTERNA DE RETORNO.....	42
3.2 VALOR ACTUAL NETO.....	43
4. CONCLUSIONES .....	44
5. RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Residuos sólidos domésticos generados en Barrancabermeja.....	25
Tabla 2. Biogás generado en fase III .....	26
Tabla 3. Biogás generado en fase IV .....	26
Tabla 4. Biogás generado en fase V.....	26
Tabla 5. Biogás Producido en cada celda de Biogás (MPCD) .....	28
Tabla 6. Composición del biogás obtenido en las celdas de biogás (Gas agrio) ...	32
Tabla 7. Composición del biogás tratado .....	32
Tabla 8. Costos construcción de celdas de biogás. ....	35
Tabla 9. Costo planta de tratamiento de biogás.....	36
Tabla 10. Costos de operación. ....	40
Tabla 11. Costos de mantenimiento mensual. ....	40
Tabla 12. Costo de M3 tratado.....	41
Tabla 13. Inversión inicial del proyecto. ....	42
Tabla 14. Tasa interna de retorno. ....	42
Tabla 15. Valor actual neto. ....	43

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Fases de biodegradación y relación de producción de metano.....	15
Figura 2 Composición típica del biogás .....	16
Figura 3. Reactor de mezcla completa (RMC) sin recirculación .....	19
Figura 4. Reactor de mezcla completa (RMC) con recirculación. ....	20
Figura 5. Biodigestor de flujo de pistón.....	21
Figura 6. Filtro anaerobio.....	21
Figura 7. Lecho fluidizado.....	22
Figura 8. Reactor de lecho de lodos .....	23
Figura 9. Simulación en HYSYS - Endulzamiento .....	33
Figura 10. Simulación en HYSYS – Deshidratación .....	34

## GLOSARIO

**RESIDUO SÓLIDO:** Es cualquier objeto o material resultante de la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo, los cuales pueden ser reutilizados, reciclados, o rechazados, los cuales son el producto de las actividades diarias del ser humano principalmente. La mayor parte de los residuos se generan en las grandes ciudades.

**RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICO:** Son los residuos generados en los hogares de los centros urbanos o rurales.

**RELLENO SANITARIO:** Es un lugar destinado a la disposición final de residuos sólidos, es el método de disposición final más utilizado en el mundo, y soluciona muchos de los problemas medio ambientales, de su antecesor los tiraderos, aunque en la actualidad es el método más utilizado, sus impactos medio ambientales, siguen siendo críticos, puesto que el biogás y los lixiviados, no se pueden controlar en su totalidad.

**BIODEGRADABLE:** Es la característica de los residuos para descomponerse con cierta rapidez la cual no puede superar los 6 meses en estar descompuesto en un 90 por ciento, en sus elementos primarios y para lo cual existe una prueba, la cual es el método EN 14046, o la que se encuentra en la ISO 14885.

**BIODEGRADACIÓN:** Utilización de un sistema biológico (generalmente microorganismos) para eliminar o reducir la concentración de sustancias contaminantes presentes en un sitio o en un residuo contaminante. Implica la transformación de sustancias a CO<sub>2</sub>, agua y biomasa.

**DIGESTIÓN ANAERÓBICA:** Es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado). En biodigestores o celdas de biogás se aprovecha esta liberación de gases para luego ser usados como combustible. La intensidad y duración del proceso anaeróbico varían dependiendo de los diversos factores, entre los que se destacan la temperatura y el pH del material biodegradado.

**PROTOCOLO DE KIOTO:** Es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, por el medio del cual se

pretende disminuir la problemática del calentamiento global, y el cual es la base de los bonos de carbono (Certificados de reducción de emisiones o bonos verdes).

**LOS BONOS DE CARBONO:** Es uno de los 3 instrumentos propuestos en el protocolo de Kioto, con el cual se incentiva a la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero, estos se pagan de acuerdo a la reducción de dióxido de carbono equivalente, y el cual en la actualidad es un dinero que puede financiar proyectos en países en desarrollo, este mecanismo, sirve para que países industrializados puedan comprar los certificados de reducción de emisiones, y garantizando que la reducción a nivel mundial sea efectiva. Las reducciones de emisiones, se miden en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir a la atmósfera, los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación son, por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, reforestación, limpieza de lagos y ríos, etc.

**CODIGESTIÓN:** Se habla de codigestión anaeróbica cuando se mezclan en los sistemas de digestión efluentes de la ganadería con otros substratos orgánicos para aumentar la producción de biogás. En una práctica muy extendida por Europa se mezclan substratos de menor potencial metanogénico pero de características muy favorables al proceso de digestión anaeróbica, como lo residuos de la ganadería, con otros substratos de gran poder energético disponibles en menor cantidad, como los residuos de mataderos, de la industria agroalimentaria, o cultivos herbáceos energéticos.

## RESUMEN

### TITULO:

ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD ECONOMICA DE LA OBTENCION DEL GAS NATURAL DOMESTICO A TRAVES DE BIODIGESTORES UBICADOS EN EL RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA (SANTANDER)

### AUTORES:

RAUL CAMACHO PULIDO  
TOMAS ANTONIO PEDRAZA ROMERO

### PALABRAS CLAVES:

Gas Natural, Energía, Natural, Biogás ,renovable, Sustentable ,Sostenible, biodegradación,

Se muestra una opción para la obtención de biogás, su procesamiento para obtener condiciones de transporte y comercialización y un análisis técnico económico para evidenciar la factibilidad financiera de este proceso.

El biogás es una alternativa que ha crecido en países desarrollados, se ha difundido principalmente en el sector rural para el consumo propio de las granjas (gas para cocinar, o gas para obtener energía eléctrica), pero en países como Noruega, Suecia, Finlandia y Holanda han masificado su uso en el transporte, y más concretamente en líneas de autobuses urbanas e interurbanas. En la actualidad los residuos sólidos generados en el municipio de Barrancabermeja, son tratados en celdas transitorias en el relleno sanitario la Esmeralda, y cuyos problemas ambientales principales son los lixiviados y el biogás. La idea principal es buscar una solución integral, que sea sustentable y sostenible económica y ambiental, utilizando los residuos biodegradables para obtener biogás.

En la primera parte se analiza la información, ya existente, para determinar la producción de biogás generado por los productos biodegradables manejados en el relleno sanitario.

La segunda parte presenta los lineamientos principales para la obtención técnica de un cultivo de Biogas a partir de celdas geométricamente dispuestas para lograr la recolección dinámica e ininterrumpida del gas. La tercera parte se refiere al tratamiento de este gas para colocarlo dentro de especificaciones para comercialización y en la cuarta parte se hace un análisis económico para determinar las condiciones de producción que deberían darse para definir el punto de equilibrio.

Todo lo anterior basados en un modelo técnico económico dado en las condiciones actuales y específicamente para el municipio de Barrancabermeja.

\* Monografía.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director: Jorge Andrés SÁCHICA.

## SUMMARY

ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF OBTAINING THE DOMESTIC NATURAL GAS THROUGH BIODIGESTERS LANDFILL LOCATED IN THE MUNICIPALITY OF Barrancabermeja (Santander).

### **AUTORES:**

RAUL CAMACHO PULIDO  
TOMAS ANTONIO PEDRAZA ROMERO

### **KEYWORDS:**

Natural Gas, Energy, Natural, Biogas, Renewable, Sustainable, Sustainable, biodegradation,

Show option for obtaining biogas processing for transport and marketing conditions and technical economic analysis to demonstrate the financial feasibility of this process.

Biogas is an alternative that has grown in developed countries, has spread mainly in the rural sector for own consumption of farms (cooking gas, or gas for electric power), but in countries like Norway, Sweden, Finland and Netherlands have amassed their use in transport, particularly in urban bus lines and interurban. At present solid waste generated in the municipality of Barrancabermeja, are transitional cells treated landfill Esmeralda, and whose main environmental problems are lixiviates and biogas. The main idea is to find a solution that is sustainable and economically and environmentally sustainable, using biodegradable waste for biogas.

In the first part analyzes the information existing to determine biogas production generated biodegradable products handled at the landfill.

The second part presents the main guidelines for obtaining a crop technique Biogas from cells geometrically arranged to achieve uninterrupted collection of gas dynamics.

The third part concerns the treatment of this gas to put into marketing specifications and the fourth part is an economic analysis to determine the conditions of production that should be taken to define the equilibrium point.

All this based on a technical and economic model given current conditions and specifically to the city of Barrancabermeja.

\* Degree Thesis.

\*\* Physico-Chemical Engineering Faculty, School of Petroleum Engineering, Tutor:Ing. Emiliano Ariza Leon.

## INTRODUCCIÓN

El gas es un recurso energético natural no renovable, por ende las reservas disminuyen exponencialmente con relación al tiempo. La incertidumbre de encontrar yacimientos gasíferos. shale gas y gas asociado en nuestro país es muy alta, lo que nos impulsa a encontrar nuevas alternativas de obtención del gas, alternativas que sean sostenibles y sustentables, dentro de un marco ambiental y económico.

La disposición definitiva de los residuos sólidos es hoy en día, uno de los problemas más importantes que afectan al mundo y en especial a la región de América Latina en términos ambientales. El sistema más utilizado en la actualidad para la disposición final es el relleno sanitario o las celdas transitorias, el biogás generado en rellenos sanitarios puede ser capturado utilizando un sistema de recolección de biogás que usualmente quema el gas por medio de quemadores. Alternativamente el gas recuperado puede usarse de diferentes maneras. Por ejemplo: producción de energía eléctrica a través del uso de generadores de combustión interna, turbinas, o micro turbinas o puede utilizarse como combustible en calentadores de agua u otras instalaciones. El biogás es una alternativa que ha crecido en países desarrollados, se ha difundido principalmente en el sector rural para el consumo propio de las granjas (gas para cocinar, o gas para obtener energía eléctrica), pero en países como Noruega, Suecia, Finlandia y Holanda han masificado su uso en el transporte, y más concretamente en líneas de autobuses urbanas e interurbanas. El proceso de obtener biogás es relativamente fácil, se debe acumular material biodegradable en un contenedor que por lo general es llamado biodigestor, reactor o celda de biogás, el proceso de descomposición se deriva en una mezcla de gas rica en metano y CO<sub>2</sub> principalmente.

Para cumplir lo estipulado en la resolución de la CREG 135 del 2012, por el cual se establece los parámetros de calidad que debe tener el biogás para que pueda ser mezclado con el gas natural de la red de gas domiciliario, es necesario un tratamiento de endulzamiento con DEA.

Debido a la problemática que se puede presentar en un futuro no muy lejano, por desabastecimiento de gas natural, y a la problemática que generan los residuos sólidos domésticos en la ciudad de Barrancabermeja, se pretende buscar una alternativa energética que supla a la de gas natural, como lo puede ser el biogás, y una solución integral, que sea sustentable y sostenible en el marco económico y ambiental, a los residuos, que resultan en la actividad de biodegradación, principalmente el biogás, para lo cual se analizara la información ya existente, con el fin de determinar su viabilidad económica, planteando un proceso de tratamiento del biogás para cumplir especificaciones técnicas y normativa legal vigente.

## **1. MARCO TEÓRICO**

La falta de energías alternativas sustentables y sostenibles en el tiempo y económicamente, sumado a que el biogás generado por la biodegradación de los residuos sólidos domésticos del municipio de Barrancabermeja, contribuyen al efecto invernadero, problemáticas que no solo afectan en el ámbito local, si no que afectan en el ámbito internacional, razón por la cual se requiere buscar alternativas, viables desde el punto de vista económico, ambiental y social.

### **1.1 BIOGÁS**

Es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.) y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico).

### **1.2 CELDA DE BIOGÁS**

Una celda de biogás, es en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar, para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los residuos, dichas celdas se impermeabilizan con geomembranas.

### **1.3 FASES DURANTE LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y GENERACIÓN DE BIOGÁS**

Fase I: Aeróbica, que inicia inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario y en la que las sustancias fácilmente biodegradables se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua, materia parcialmente descompuesta registrando temperaturas entre 35 y 40 °C. (2 Semanas).

Fase II: Aeróbica con el desarrollo de condiciones anaeróbicas en la que ocurre el proceso de Fermentación, actúan los organismos facultativos con la producción de ácidos orgánicos y la reduce significativamente el pH, condiciones propicias para la liberación de metales en el agua y la generación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). (1 Semana).

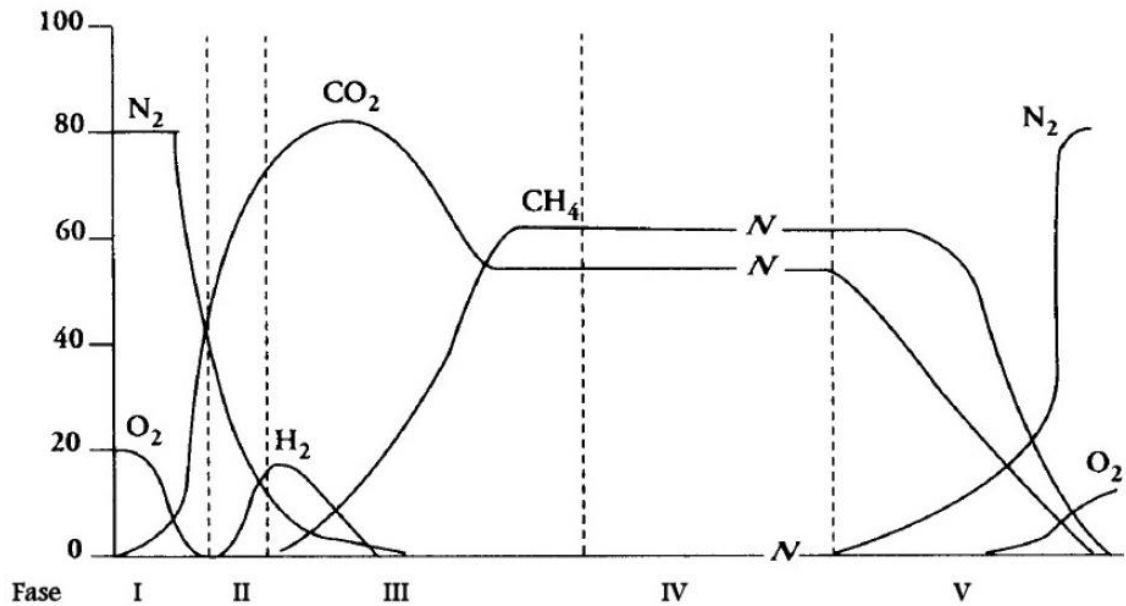
Fase III: Anaeróbica, resultado de la acción de organismos formadores de metano ( $\text{CH}_4$ ), que en las condiciones adecuadas, actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas mientras reducen la generación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). (6 Meses).

Fase IV: Metanogénica estable, que registra la más alta producción de metano oscilando entre 40-60% de metano (CH<sub>4</sub>) en volumen. (18 Meses).

Fase V: Estabilización, la producción de metano (CH<sub>4</sub>) comienza a disminuir y la presencia de aire atmosférico introduce condiciones aeróbicas en el sistema. (6 Meses)<sup>1.1</sup>

A continuación se muestra en la gráfica 1 el comportamiento del biogás en cada una de sus fases:

**Figura 1. Fases de biodegradación y relación de producción de metano.**



Fuente: REDISA-UN. Red de ingeniería en saneamiento ambiental – Universidad del norte. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos.

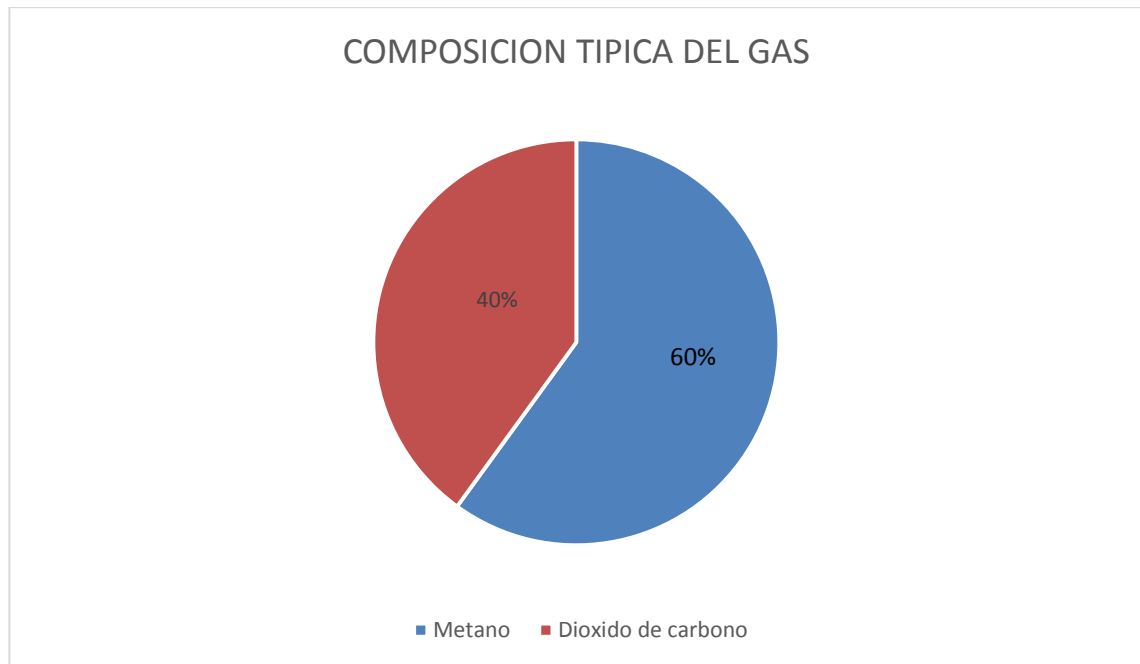
#### 1.4 CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS

El biogás es una mezcla de metano y dióxido de carbono principalmente cuya proporción típica es de 60% para el metano y 40%, y trazas de otros gases (CO, H<sub>2</sub>S, entre otros), el cual es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura de inflamación de alrededor de 700° C la cual comparada con otros combustible como el Diésel, la cual es de 350° C, gasolina y propano que están cerca de los 500° C, es más alta y cuya temperatura de la llama alcanza unos 870° C. Entre mayor es el tiempo de biodegradación de los residuos sólidos domésticos mayor es la concentración de metano, para efectos del cálculo se toma la proporción promedio, la temperatura también es otra variable que incide en la

<sup>1</sup> REDISA-UN. Red de ingeniería en saneamiento ambiental – Universidad del norte. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos - Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009. Pag. 2.

concentración de metano y la cantidad de biogás generado, por lo cual a mayor temperatura se menor cantidad de metano y mayor cantidad de gas, el poder calorífico del biogás oscila entre los 536,78 BTU/ft<sup>3</sup> y los 670,98 BTU/ft<sup>3</sup>, la cual comparada con el gas natural que es de 950 BTU/ft<sup>3</sup> es relativamente baja, y esto se debe CO<sub>2</sub> que se encuentra en el biogás.

**Figura 2. Composición típica del biogás**



Fuente: Autores del proyecto

## 1.5 UTILIZACIÓN DE BIOGÁS EN EL MUNDO

En La creación y utilización del biogás de manera artificial se remonta a la segunda guerra árabe-israelí, a mediados de los años setenta del siglo XX, cuando el precio del petróleo subió ostensiblemente al ser utilizado como arma política, lo que hizo que se investigasen otras posibilidades de producir energía. Es entonces cuando se experimentó con reactores, los llamados de alta carga, capaces de retener los microorganismos anaerobios y de tratar las aguas residuales mediante este proceso. A continuación se relaciona la utilización de Biogás en el ámbito internacional:

- Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha construido. En 1973 se creó la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el Centro Regional de Investigación en Biogás para Asia y el Pacífico
- En China, el 70% del combustible para uso doméstico en las zonas rurales proviene de la descomposición de la paja y los tallos de cultivos.

- En la India, más de medio millón de personas se han servido de plantas de biogás como combustible doméstico, y hoy en día existen plantas demostrativas multifamiliares donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda por un precio módico.
- En Estados Unidos, existen incluso algunas plantas de biogás de gran tamaño, mientras que en América Latina se hacen esfuerzos aislados en distintos países.
- En Japón, presentaban el año pasado un sistema que consigue fermentar también el hidrógeno, además del metano, separadamente, lo que amplía los residuos a utilizar para la obtención de biogás, como los desechos de las cocinas, por ejemplo.
- En Europa, existen más de 500 instalaciones productoras de este gas biológico, Holanda y Dinamarca son los países que marcan la pauta.
- En España, la implantación es menor respecto al resto de Europa. En el campo de las aguas residuales existe en industrias azucareras o cerveceras. Concretamente con el estiércol, tanto de vacuno como de porcino, ha habido algunas plantas piloto, pero ahora mismo a escala industrial no hay ninguna. En estos temas se investiga fundamentalmente desde las universidades. Su aplicación a escala industrial dependerá de las exigencias medioambientales y de los precios del coste de la energía

## **1.6 UTILIZACIÓN DE BIOGÁS EN COLOMBIA**

En Colombia el biogás se encuentra en etapa incipiente, por ende la información de los proyectos de este tipo es mínima, se ha utilizado en el área rural en fincas para solucionar el abastecimiento de gas doméstico y en las áreas urbanas se ha implementado, principalmente en los rellenos sanitarios, dentro de los cuales se pueden mencionar el relleno sanitario curva de rodas, el cual fue clausurado en junio del 2003, y posteriormente el relleno sanitario la pradera del municipio de Medellín, de los cuales se estimó una reducción de 1.131.605 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, durante todo el proyecto, en la actualidad también funciona el proyecto de biogás doña Juana, ubicado en el relleno sanitario doña Juana, en la ciudad de Bogotá, el cual es el más grande en el país, y que en la actualidad se encuentra en crisis económica, debido a que los certificados de reducción de emisiones (CER) o bonos verdes han bajado su precio por la crisis económica europea.

## **1.7 NORMATIVA COLOMBIANA PARA CALIDAD DE BIOGÁS**

En la actualidad rige la resolución No. 135 de 2012 de la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) y el cual determina la calidad del biogás que debe cumplir para que pueda ser inyectado a la red de gas natural domiciliario, en el cual se establece que la concentración de metano en el biogás debe ser del 95 %, con el cual se garantiza que la calidad del biogás y la del gas natural domiciliario sean similares.

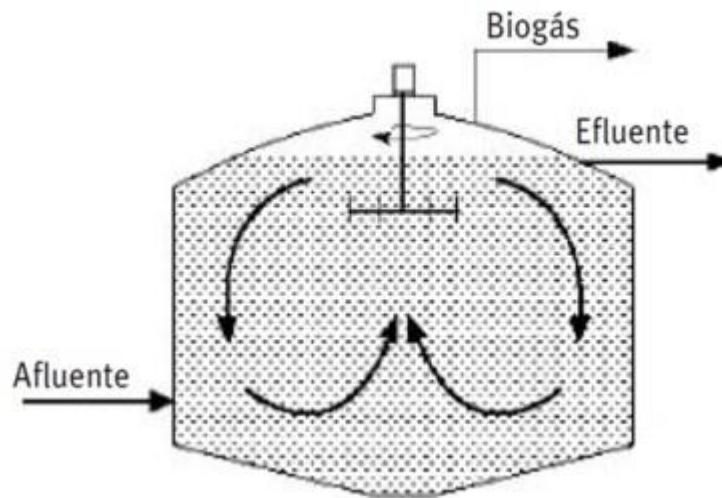
## **1.8 TECNOLOGÍAS EN BIOGÁS**

En la actualidad existen varias tecnologías en la producción del biogás, extracción, tratamiento y aprovechamiento del biogás.

**1.8.1 Producción de biogás.** Para la producción de biogás existen varias clases de reactores (Biodigestores), dentro de los cuales encontramos; reactor de mezcla completa sin recirculación, reactor de mezcla completa con recirculación, reactor con retención de biomasa sin recirculación, El reactor de lecho de lodos, Sistemas discontinuos y Otros sistemas estos últimos son la combinación de los reactores mencionados anteriormente.

**1.8.1.1 Reactor de mezcla completa sin recirculación.** Consiste en un reactor en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de substrato como de microorganismos (ver Figura 2). Esto se consigue mediante un sistema de agitación. Ésta puede ser mecánica (agitador de hélice o palas, de eje vertical u horizontal) o neumática (recirculación de biogás a presión), y nunca violenta. Esta tipología de reactor no ofrece problemas de diseño y es el más utilizado para residuos. Comparativamente a otros reactores, el tiempo de retención necesario es alto, debido a que la concentración de cualquier especie, que se mantiene en el reactor en régimen estacionario, es la misma que la que se pretende en el efluente. Si la velocidad de reacción depende de la concentración, como es el caso de los procesos biológicos, la velocidad será baja, y la forma de compensarla es aumentando el tiempo de reacción.

**Figura 3. Reactor de mezcla completa (RMC) sin recirculación.**

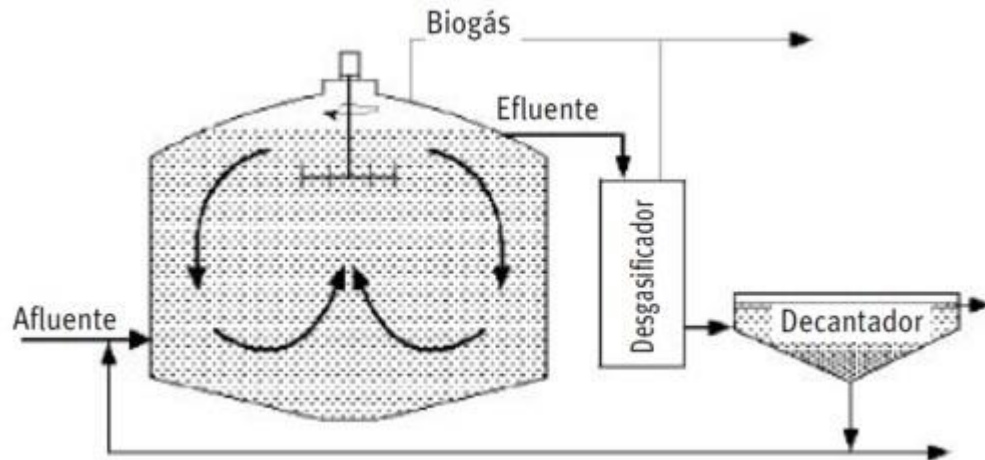


Fuente: Biodisol. - Tecnologías de producción de biogás

**1.8.1.2 Reactor de mezcla completa con recirculación.** Este sistema tiene el nombre de reactor anaerobio de contacto y sería equivalente al sistema de fangos activos aerobios para el tratamiento de aguas residuales (ver Figura 3). Se comprueba que regulando la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que en un reactor simple de mezcla completa. Esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos, gracias a su confinamiento en el sistema mediante la separación en el decantador y recirculación.

Debido a la necesaria separación de microorganismos en el decantador, este sistema sólo es aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica (aguas residuales de azucareras, cerveceras, etc.), para las que sea posible una separación de fases líquido-sólido, con la fracción sólida consistente básicamente en flóculos biológicos. Antes del decantador se debe disponer de un sistema de desgasificación, sin el cual la decantación se puede ver impedida.

**Figura 4. Reactor de mezcla completa (RMC) con recirculación.**



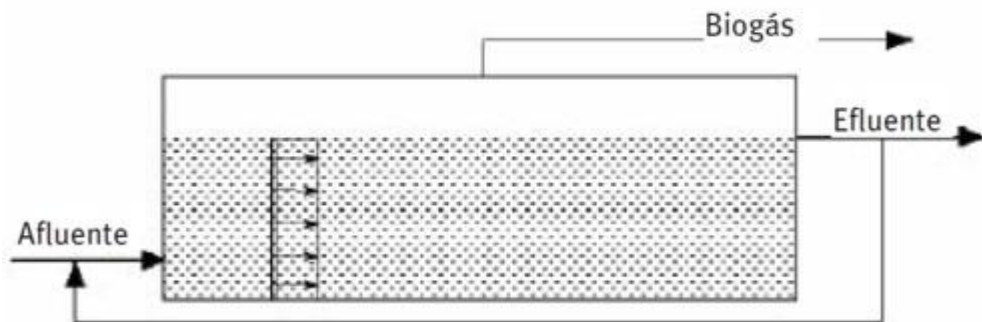
Fuente: Biodisol. - Tecnologías de producción de biogás

**1.8.1.3 Reactor con retención de biomasa, sin recirculación.** Si se consigue retener bacterias en el interior del reactor, evitando la configuración de reactor de mezcla completa, es posible reducir el tiempo de retención por debajo del reactor RMC tomado como referencia. Los métodos de retención de biomasa son básicamente dos:

- a) inmovilización sobre un soporte (filtros anaerobios y lechos fluidizados);
- b) agregación o floculación de biomasa y su retención por gravedad (reactores de lecho de lodos). Estos sistemas se esquematizan en la siguiente figura y se comentan a continuación.

Aunque los reactores de flujo pistón (ver Figura 4) no estarían encuadrados en este apartado, el hecho de que la tasa de crecimiento de microorganismos sea más elevada a la entrada del reactor, donde la concentración de sustrato también es más elevada, hace que la concentración media en el reactor sea superior a la correspondiente a mezcla completa, o en todo caso superior a la de salida, con lo cual el tiempo de retención será inferior. Este tipo de reactor ha sido aplicado a diferentes tipos de residuos orgánicos, como fracción orgánica de residuos municipales (configuración vertical y flujo ascendente), residuos de porcino y bovino, y una de las dificultades es la debida a la falta de homogenización en la sección transversal a la dirección del flujo, en las configuraciones horizontales, lo cual se puede evitar mediante un sistema de agitación transversal (reintroducción de biogás a presión en la base del digestor si el reactor es horizontal, por ejemplo).

**Figura 5. Biodigestor de flujo de pistón.**

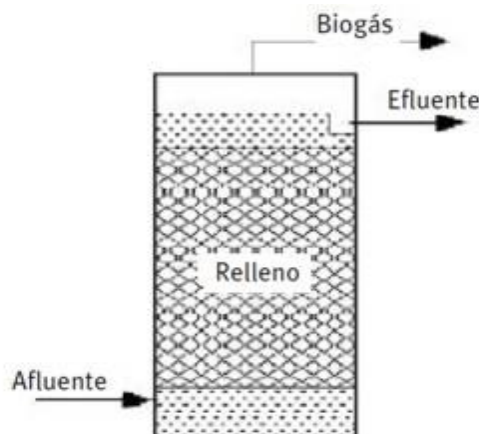


Fuente: Biodisol. - Tecnologías de producción de biogás

- **El filtro anaerobio.**

En este sistema las bacterias anaerobias están fijadas a la superficie de un soporte inerte —formando biopelículas—, columna de relleno, o atrapadas en los intersticios de éste, con flujo vertical. El soporte puede ser de material cerámico o plástico. Su distribución puede ser irregular (filtro anaerobio propiamente dicho, con flujo ascendente, Figura), y en este caso las bacterias se encuentran mayoritariamente atrapadas en los intersticios, o regular y orientado verticalmente, y en este caso la actividad es debida básicamente a las bacterias fijadas, recibiendo el nombre de lecho fijo con flujo descendente (Figura 5). En caso de utilizar un soporte orientado verticalmente con flujo ascendente y un sustrato lentamente degradable, con elevado tiempo de retención, la retención por sedimentación de los fragmentos de biopelícula desprendidos adquiere un efecto de importancia en la actividad del reactor. Este sistema ha sido extensamente aplicado para el tratamiento de aguas residuales de industria agroalimentaria, y existen experiencias piloto para la fracción líquida de residuos ganaderos. El coste de inversión es un limitante importante para su implantación.

**Figura 6. Filtro anaerobio.**

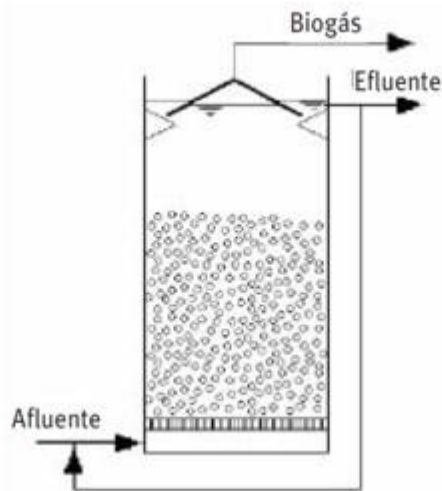


Fuente: Biodisol. - Tecnologías de producción de biogás

- **El lecho fluidizado.**

En este sistema las bacterias se encuentran fijadas, formando una biopelícula, sobre pequeñas partículas de material inerte que se mantienen fluidizadas mediante el flujo ascendente adecuado del fluido. Para mantener el caudal adecuado, que permita la expansión y fluidización del lecho, se recurre a la recirculación (ver Figura 6). Igual que el filtro, puede ser aplicado a aguas residuales, especialmente de la industria agroalimentaria, y a fracciones líquidas o sobrenadante de residuos ganaderos, aunque las experiencias en este ámbito son muy limitadas.

**Figura 7. Lecho fluidizado**

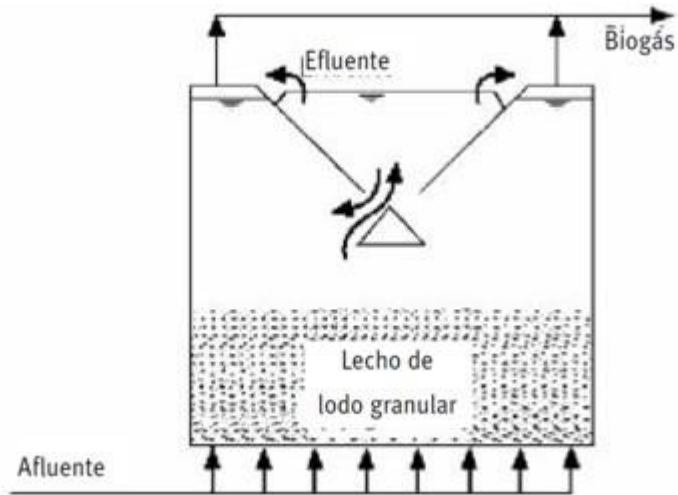


Fuente: Biodisol. - Tecnologías de producción de biogás

- **El reactor de lecho de lodos.**

En este sistema se favorece la floculación o agregación de bacterias entre ellas, formando gránulos o consorcios, de forma que por sedimentación se mantienen en el interior del reactor, con la velocidad ascendente adecuada del fluido, siempre que en la parte superior exista un buen separador sólido (biomasa)/líquido/gas. El diseño más común es el Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), (ver Figura 7), el cual está siendo extensamente aplicado al tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria. Es el diseño más simple de entre los sistemas con retención de biomasa y el único limitante para su aplicación es que la biomasa activa granule, esto es, que forma agregados de alta densidad. Para ello es determinante la composición del agua a tratar y mantener una operación adecuada.

**Figura 8. Reactor de lecho de lodos**



Fuente: Biodisol. - Tecnologías de producción de biogás

**1.8.1.4 Sistemas discontinuos.** En un sistema discontinuo, la curva de evolución temporal de la producción de biogás sigue la misma tendencia que la curva típica del crecimiento de microorganismos (latencia, crecimiento exponencial, estacionalidad y decrecimiento). Aquí el concepto de tiempo de retención no tiene sentido y se hablaría de tiempo de digestión.

Para conseguir una producción de biogás cercana a la continuidad deben combinarse varios reactores discontinuos con puestas en marcha intercaladas en el tiempo. Estos reactores han sido aplicados a residuos con una alta concentración de sólidos que dificultan la adopción de sistemas de bombeo, tales como residuos de ganado vacuno con lecho de paja.

**1.8.1.5 Otros sistemas.** Los reactores anteriores pueden ser combinados para conseguir sistemas más eficientes, según el tipo de residuo a tratar.

- **Sistemas de dos etapas**

Estos consisten en un primer reactor con elevado tiempo de retención, en el cual se favorece la hidrólisis, seguido de un reactor de bajo tiempo de retención que digiere la materia orgánica disuelta y los ácidos producidos en la primera etapa. Si la primera etapa consiste en un reactor discontinuo, el líquido tratado en la segunda es el obtenido por percolación en la primera una vez recirculado el efluente de la segunda. Este sistema permite mantener fácilmente la temperatura en el reactor discontinuo, controlando la temperatura del efluente del segundo reactor.

Ha sido aplicado con éxito para tratar residuos sólidos cuya etapa limitante es la hidrólisis: frutas, verduras, residuos sólidos urbanos, de ganado vacuno, etc.

- **Sistemas de dos fases**

A diferencia de los sistemas de dos etapas, la separación de fases se refiere a mantener dos reactores en serie, en los cuales se realizan, respectivamente, las fases de acidogénesis y metanogénesis, y su objetivo es conseguir un tiempo de retención global inferior al correspondiente a un único reactor de mezcla completa.

La separación es de tipo cinético, controlando el tiempo de retención de cada reactor, el cual será inferior en el primero, debido a las más altas tasas de crecimiento de las bacterias acidogénicas. Este tipo de sistema ha sido aplicado con éxito a la digestión de residuos con alta concentración de azúcares y bajo contenido en sólidos, pero no para residuos con fibras y, en general, sustratos complejos cuyo limitante es la hidrólisis.

**1.8.1.6 Sistemas híbridos.** En general serán sistemas que combinen los conceptos que sustentan los diferentes tipos de reactores descritos. Los dos sistemas anteriores podrían considerarse como tales. También se han realizado diseños de reactores con retención de biomasa híbridos, en los cuales la parte baja de éste se comporta como un UASB y la parte superior como un filtro.

## 2. INFORMACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO

Este proyecto está dirigido a determinar la factibilidad económica de obtener gas natural domestico a través de biodigestores ubicados en el relleno sanitario del municipio de Barrancabermeja (Santander)

### 2.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

“El municipio de Barrancabermeja, Está ubicado a 101 km al occidente de Bucaramanga, a orillas del Río Magdalena, en la región del Magdalena Medio, de la cual es el municipio más importante y segunda en todo el departamento, y cuyas coordenadas de posicionamiento global son 7° 4' 0" N, 73° 52' 0" W. con una temperatura promedio de 28 °C y una altura sobre el nivel del mar de 75,94 M.”<sup>2</sup>

### 2.2 PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

En la actualidad los residuos sólidos generados en el municipio de Barrancabermeja, son tratados en celdas transitorias del relleno sanitario la esmeralda, y cuyos problemas ambientales principales son los lixiviados y el biogás, a pesar que la celda transitoria ha implementado sistemas de aislamiento, para controlar el ingreso de aguas lluvias con plásticos, dicho sistema no ha podido solucionar dicho problema definitivamente, y por otro lado el biogás generado, una parte es quemado y otra parte sube a la atmosfera, contribuyendo de esta al efecto invernadero.

### 2.3 RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS GENERADOS

Los residuos sólidos generados en el municipio Barrancabermeja son, 180 toneladas diarias, por lo cual tenemos una cantidad mensual de 7200 toneladas, dado a que la densidad de los residuos sólidos es en promedio de 1,2 M3/ 0,9 Toneladas, por lo cual se maneja la siguiente información:

**Tabla 1. Residuos sólidos domésticos generados en Barrancabermeja**

Residuos Sólidos Domésticos Generados		
Descripción	Peso (Ton)	Volumen (M3)
RS Diario	180	240
RS Mensual	5.400	7.200

Fuente: AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P. - Manual de operación y mantenimiento de la celda transitoria para la disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Barrancabermeja

<sup>2</sup> Wikipedia-<http://es.wikipedia.org/wiki/Barrancabermeja>. Consultado el 14 de junio de 2013.

## 2.4 BIOGÁS GENERADO EN LAS DIFERENTES FASES POR LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA

Se considera como rango típico en la producción de gases, ratas entre 20 y 40 mililitros por día por kilogramo de desechos sólidos, la generación de biogás por celda de biogás (Celdas de 5400 Toneladas) en cada fase se relaciona a continuación:

**Tabla 2. Biogás generado en fase III**

<b>Biogás Generado en Fase III</b>			
Descripción	Militros por día	PCD	MPCD
Biogás	162.000.000	5.721	0,005721

Fuente: AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P. - Manual de operación y mantenimiento de la celda transitoria para la disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Barrancabermeja

**Tabla 3. Biogás generado en fase IV**

<b>Biogás Máximo Generado en Fase IV</b>			
Descripción	Militros por día	PCD	MPCD
Biogás	216.000.000	7.628	0,007628

Fuente: AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P. - Manual de operación y mantenimiento de la celda transitoria para la disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Barrancabermeja

**Tabla 4. Biogás generado en fase V**

<b>Biogás Máximo Generado en Fase V</b>			
Descripción	Militros por día	PCD	MPCD
Biogás	108.000.000	3.814	0,003814

Fuente: AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P. - Manual de operación y mantenimiento de la celda transitoria para la disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Barrancabermeja

## 2.5 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

El tiempo de maduración de los residuos sólidos domésticos, hasta el tiempo en que los residuos sólidos dejan de generar Biogás es de 31 meses, por ende para poder tener una producción de gas constante se requiere tener 31 celdas de biogás, llegando a una producción constante a partir del mes 30, con una producción de 0,180837 MPCD y dicha producción se mantendrá constante.

Las producciones de gas se dan de acuerdo a las fases de generación de Biogás y se relaciona a continuación la producción de cada celda de Biogás, y durante su etapa de maduración, producción y terminación

A: En esta etapa se encuentra en la fase I y la fase III, por lo cual se produce 0.005721 MPCD

B: En esta etapa se encuentra en la fase IV, por lo cual se produce 0.007628 MPCD

C: En esta etapa se inicia la fase V, por lo cual se produce 0.003814 MPCD

D: En esta etapa se continúa la fase V, por lo cual se produce 0.0026698 MPCD

E: En esta etapa se continúa la fase V, por lo cual se produce 0.00160188 MPCD

F: En esta etapa se continúa la fase V, por lo cual se produce 0.00080094 MPCD

G: En esta etapa se termina la fase V, por lo cual se produce 0.000320376 MPCD.

A continuación se mostrara la producción estimada en las celdas de biogás.

**Tabla 5. Biogás Producido en cada celda de Biogás (MPCD)**

CELIDAS DE BIOGAS																																
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total Biogás
Mes 1	0																															0
Mes 2	A	0																														0,005721
Mes 3	A	A	0																													0,011442
Mes 4	A	A	A	0																												0,017163
Mes 5	A	A	A	A	0																											0,022884
Mes 6	A	A	A	A	A	0																										0,028605
Mes 7	A	A	A	A	A	A	0																									0,034326
Mes 8	B	A	A	A	A	A	A	0																								0,041954
Mes 9	B	B	A	A	A	A	A	A	0																							0,049582
Mes 10	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0																						0,05721
Mes 11	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0																					0,064838
Mes 12	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0																				0,072466
Mes 13	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0																			0,080094
Mes 14	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0																		0,087722
Mes 15	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0																	0,09535
Mes 16	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0																0,102978
Mes 17	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0															0,110606
Mes 18	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0														0,118234

CELIDAS DE BIOGAS																																	
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total Biogás	
Mes 20	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0													0,13349
Mes 21	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0												0,141118
Mes 22	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0												0,148746
Mes 23	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0											0,156374
Mes 24	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0										0,164002
Mes 25	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	0										0,17163
Mes 26	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	0									0,175444
Mes 27	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	0								0,1781138
Mes 28	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	0							0,17971568
Mes 29	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0						0,18051662
Mes 30	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0					0,180837
Mes 31	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0			0,180837
Mes 32	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A		0,180837
Mes 33	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A		0,180837
Mes 34	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A		0,180837
Mes 35	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A		0,180837
Mes 36	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A		0,180837
Mes 37	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A		0,180837

CELIDAS DE BIOGAS																																	
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total Biogás	
Mes 38	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837
Mes 39	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837
Mes 40	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 41	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 42	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 43	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 44	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 45	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 46	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 47	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 48	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 49	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 51	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	0,180837	
Mes 52	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	0,180837	
Mes 53	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	B	0,180837	
Mes 54	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	B	0,180837	

CELIDAS DE BIOGAS																																
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total Biogás
Mes 55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	B	0,180837
Mes 56	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	C	0,180837	
Mes 57	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	D	0,180837		
Mes 58	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	0	0	G	F	E	0,180837		
Mes 59	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	F	0,180837		
Mes 60	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0	G	0,180837		
Mes 61	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	0	0	0,180837		
Mes 62	0	G	F	E	D	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	0	0,180837	

CONVERSIONES	
MPCD	ITEM
0,005721000	A
0,007628000	B
0,003814000	C
0,002669800	D
0,001601880	E
0,000800940	F
0,000320376	G

Fuente: Tabla elaborada a partir de datos encontrados en AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P. - Manual de operación y mantenimiento de la celda transitoria para la disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Barrancabermeja y cálculos proyectados

## 2.6 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS GENERADO EN LA CELDA DE BIOGÁS

A continuación se relaciona la composición del biogás obtenido en las celdas de biogás:

**Tabla 6. Composición del biogás obtenido en las celdas de biogás (Gas agrio)**

Composición del biogás obtenido en las celdas de biogás	
Compuesto	Valor
Metano (CH <sub>4</sub> )	60%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	40%
Presión	18 psig
Temperatura	77 °F
Caudal de entrada	0,180837 MPCD

Fuente: Composición del biogás obtenido en Modelo Colombiano de biogás - Biogás de relleno sanitario.

## 2.7 PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Los parámetros de operación son los siguientes:

Presión inicial = 18 PSIG

Temperatura Inicial = 77°F

Caudal de Biogás = 0.180837 MPCD

Presión Final = 70 PSIG

Temperatura Final = 120,4°F

Caudal de Biogás Tratado = 0,1072MPCD

## 2.8 COMPOSICIÓN DEL GAS DE SALIDA

A continuación se relaciona la composición del biogás después del tratamiento:

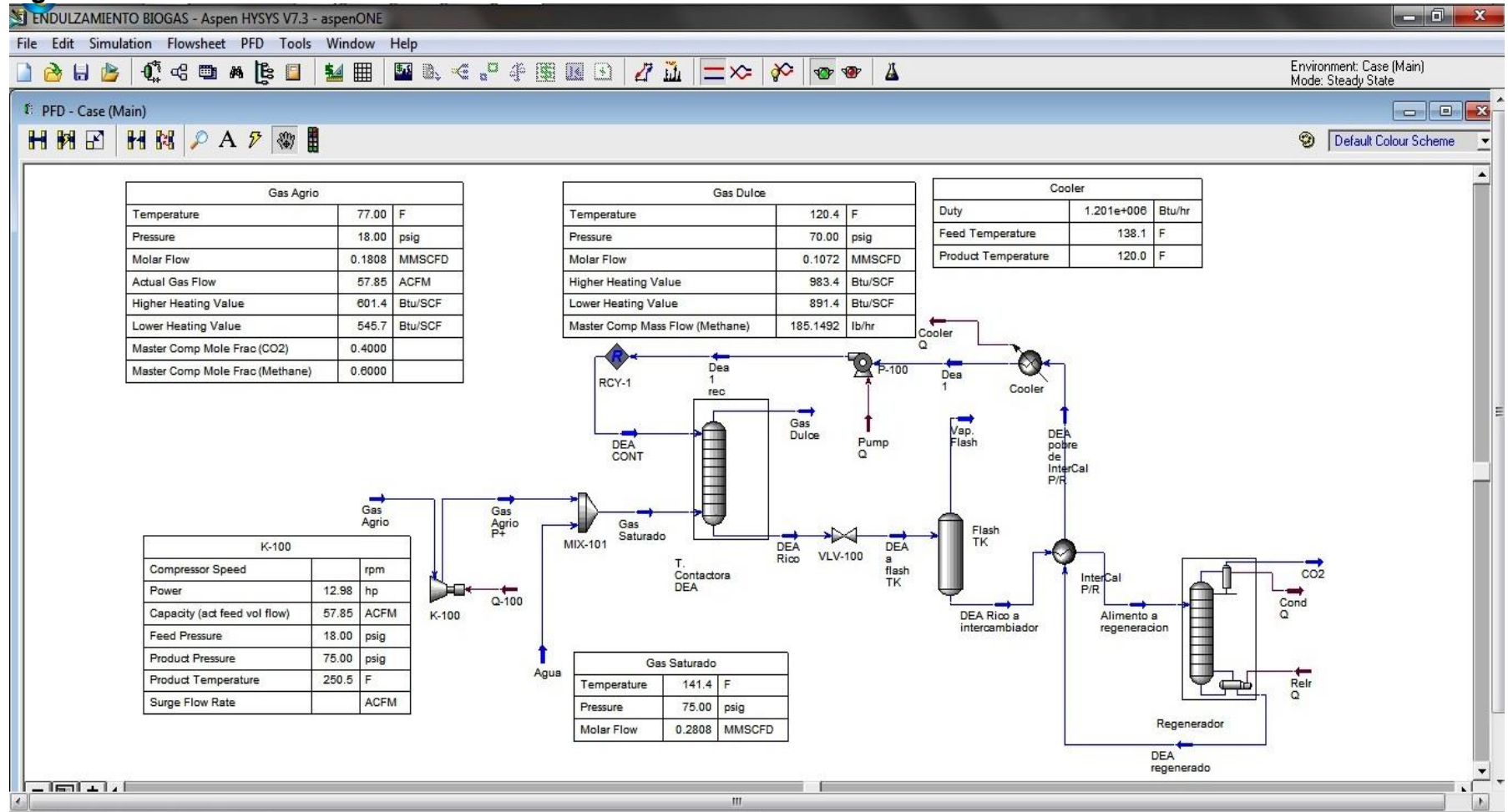
**Tabla 7. Composición del biogás tratado**

Composición del biogás tratado (Gas seco)	
Compuesto	Valor
Metano (CH <sub>4</sub> )	100%
Dióxido de carbono (H <sub>2</sub> O)	0,00%
Contenido de Agua (H <sub>2</sub> O)	%
Presión	70 psig
Temperatura	120,4 °F
Caudal de salida	0,0810 MPCD

Fuente: Simulación de Hysys.

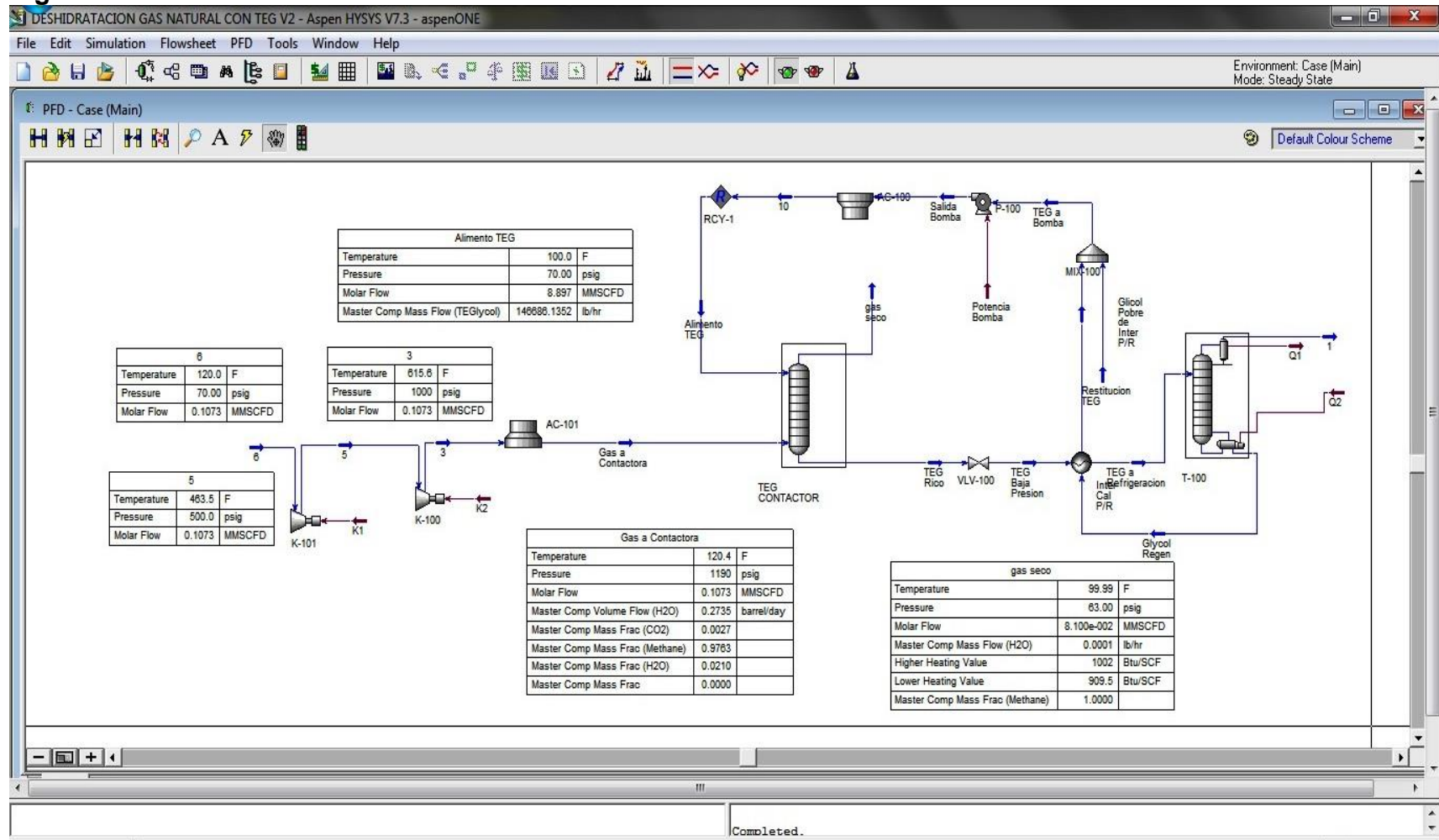
En la figura 9 se muestra la parte 1 de la planta de tratamiento propuesta para el biogás.

**Figura 9. Simulación en HYSYS - Endulzamiento**



En la figura 10 se muestra la parte 2 de la planta de tratamiento propuesta para el biogás. Fuente: Simulación de Hysys.

Figura 10. Simulación en HYSYS – Deshidratación




Fuente: Simulación de Hysys.

## 2.9 COSTOS CONSTRUCCIÓN DE CELDAS DE BIOGÁS

A continuación se describe los costos de las celdas de biogás.

**Tabla 8. Costos construcción de celdas de biogás.**


<u>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</u>				
<b>Proyecto: CELDAS DE BIOGAS RELLENO SANITARIO BARRANCABERMEJA</b>				
<b>Proceso: Análisis de Precios Unitarios</b>				<b>Fecha: 14-jun-13</b>
1. PIPING – MATERIALES				\$ 13.140.800
2. OBRAS CIVILES				\$ 328.614.555
ADMINISTRACION 10%				\$ 34.175.536
IMPREVISTOS 5%				\$ 17.087.768
UTILIDAD 5%				\$ 17.087.768
Descripción	Cantidad	Und	\$ unitario	\$ total
<b>Celdas de biogás</b>	<b>31</b>	<b>UND</b>	<b>\$ 410.106.426</b>	<b>\$ 12.713.299.206</b>
<b>1. PIPING – MATERIALES</b>				<b>\$ 13.140.800</b>
Descripción	Cantidad	Und	\$ unitario	\$ total
TUBERIA DE 3 PVC RDE 21	280	M	\$ 6.500	\$ 1.820.000
CODO 3 PVC RDE 21	18	UND	\$ 2.800	\$ 50.400
TE 3 PVC RDE 21	9	UND	\$ 5.600	\$ 50.400
PEGANTE PVC	1	GL	\$ 28.000	\$ 28.000
LIMPIADOR	1	GL	\$ 32.000	\$ 32.000
GEOMENBRANA	620	M2	\$ 18.000	\$ 11.160.000
<b>2. OBRAS CIVILES</b>				<b>\$ 328.614.555</b>
Descripción	Cantidad	Und	\$ unitario	\$ total
ASEO Y LIMPIEZA	5364	M2	\$ 300	\$ 1.609.200
TRANSPORTE DE MATERIAL EN VOLQUETA > 1KM	90000	M3/KM	\$ 900	\$ 81.000.000
LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO TOPOGRÁFICO	5364	M2	\$ 2.415	\$ 12.954.060
DESCAPOTE , LIMPIEZA MECANICA (incluye corte y cargue)	5364	M2	\$ 9.660	\$ 51.816.240
NIVELACION MECANICA DE TERRENO	1877.4	M3	\$ 12.075	\$ 22.669.605
EXCAVACION MANUAL CONGLOMERADO 0-2	470	M3	\$ 61.755	\$ 29.024.850
EXCAVACION MECANICA (Corte y cargue)	5364	M3	\$ 24.150	\$ 129.540.600

Fuente: Autores

## 2.10 COSTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE BIOGÁS

A continuación se describe los costos de la planta de tratamiento de biogás.

**Tabla 9. Costo planta de tratamiento de biogás.**

<u>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</u>				
<b>Proyecto: CELDAS DE BIOGAS RELLENO SANITARIO BARRANCABERMEJA</b>				
<b>Proceso: Análisis de Precios Unitarios</b>				<b>Fecha: 14-jun-13</b>
1. FACILIDADES AUXILIARES E INSTRUMENTACION				\$ 243.567.188
2. PIPING - MATERIALES				\$ 1.135.009.366
3. OBRAS CIVILES				\$ 348.442.025
4. MONTAJE Y COSTO DE LOS EQUIPOS				\$ 1.065.888.962
ADMINISTRACION 10%				\$ 279.290.754
IMPREVISTOS 5%				\$ 139.645.377
UTILIDAD 5%				\$ 139.645.377
<b>COSTO TOTAL DE LA PLANTA</b>				<b>\$ 3.351.489.049</b>
<b>1. FACILIDADES AUXILIARES E INSTRUMENTACION</b>				<b>\$ 243.567.188</b>
Descripción	Cantidad	und	\$ unitario	\$ total
GENERADOR ELECTRICO DE 250 KW A 480 VAC. CON CABINA DE INSONORIZACION-DIESEL	1	und	\$ 68.000.000	\$ 68.000.000
EQUIPOS DE INSTRUMENTACION	20	un	\$ 654.000	\$ 13.080.000
SISTEMA DE MEDICION MULTIVARIABLE CON PLATINA DE ORIFICIO, SENSOR DE TEMPERATURAY MANIFOLD	1	un	\$ 10.643.000	\$ 10.643.000
CONDUCTOR MONOPOLAR MULTIHILOS #4/0S AWG, ASILAMOIENTO EN THHN, MARCA CENTELSA.	360	mts	\$ 67.973	\$ 24.470.280
CONDUCTOR MONOPOLAR MULTIHILOS #2/0S AWG, ASILAMOIENTO EN THHN, MARCA CENTELSA.	260	mts	\$ 43.379	\$ 11.278.540
CONDUCTOR MONOPOLAR MULTIHILOS #4S AWG, AISLAMIENTO EN THHN, MARCA CENTELSA.	721	mts	\$ 13.688	\$ 9.869.048
CONDUCTOR MONOPOLAR MULTIHILOS #10S AWG, ASILAMOIENTO EN THHN, MARCA CENTELSA.	400	mts	\$ 15.795	\$ 6.318.000

### Continuación tabla 9. Costo planta de tratamiento de biogás.

CABLE DE COBRE CONTROL APANTALLADO DE 4X2X16AWG.	320	mts	\$ 4.500	\$ 1.440.000
CABLE UTP CATEGORIA 5	300	mts	\$ 2.890	\$ 867.000
TERMINALES DE CABLES, #4/0, 2/0, 4, 8, 10, 16 AWG	3	Un	\$ 800.000	\$ 2.400.000
CONCRETO PARA BANCO DE DUCTOS DE 2500 PSI, CON MINERAL	87	m3	\$ 457.600	\$ 39.811.200
TUBERIA IMC DE 1" X 3 MTS	52	un	\$ 46.700	\$ 2.428.400
TUBERIA IMC DE 2" X 3 MTS	87	un	\$ 74.560	\$ 6.486.720
TUBERIA PVC DE 1" X 3 MTS	723	un	\$ 6.500	\$ 4.699.500
TUBERIA PVC DE 2" X 3 MTS	450	un	\$ 10.230	\$ 4.603.500
ACCESORIOS NEMA 7, PARA TUBERIA Y AFLORAMIENTOS A MOTORES AUXILIARES	1	un	\$ 18.972.000	\$ 18.972.000
TABLERO PARA ILUMINACION	1	und	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
BANDEJA PORTACABLE DE 20CM	100	mts	\$ 77.000	\$ 7.700.000
BANDEJA PORTACABLE DE 30CM	100	mts	\$ 90.000	\$ 9.000.000
<b>2. PIPING – MATERIALES</b>				<b>\$ 118.229.100</b>
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>und</b>	<b>\$ unitario</b>	<b>\$ total</b>
4" PIPE, S/STD SMLS, ASTM A-106 GR B	700	mts	\$ 92.500	\$ 64.750.000
3" PIPE, S/STD SMLS, ASTM A-106 GR B	150	mts	\$ 57.200	\$ 8.580.000
2" PIPE, S/STD SMLS, ASTM A-106 GR B	120	mts	\$ 45.000	\$ 5.400.000
4" ELL, 90%%D LR S/STD, ASTM A-234 GR WPB	96	EA	\$ 150.000	\$ 14.400.000
3" ELL, 90%%D LR S/STD, ASTM A-234 GR WPB	10	EA	\$ 100.000	\$ 1.000.000
2" ELL, 90%%D LR S/STD, ASTM A-234 GR WPB	13	EA	\$ 60.000	\$ 780.000
4" ELL, 45%%D LR S/STD, ASTM A-234 GR WPB	4	EA	\$ 120.000	\$ 480.000
2" ELL, 45%%D LR S/STD, ASTM A-234 GR WPB	1	EA	\$ 48.000	\$ 48.000
4" TEE, STR. S/STD, ASTM A-234 GR WPB	6	EA	\$ 70.000	\$ 420.000
2" TEE, STR. S/STD, ASTM A-234 GR WPB	1	EA	\$ 45.000	\$ 45.000
4"X3" REDUCER, CONC S/STD, ASTM A-234 GR WPB	1	EA	\$ 70.000	\$ 70.000
4"LONG WELD NECK, RF 150LB	2	EA	\$ 75.000	\$ 150.000
6" LONG WELD NECK, RF 600LB	1	EA	\$ 150.000	\$ 150.000
4" FLG, RFWN 600LB S/STD BORE, ASTM A-105	19	EA	\$ 190.000	\$ 3.610.000

**Continuación tabla 9. Costo planta de tratamiento de biogás.**

4"FLG, RFWN 150LB S/STD BORE, ASTM A-105	54	EA	\$ 68.000	\$ 3.672.000
3" FLG, RFWN 150LB S/STD BORE, ASTM A-105	12	EA	\$ 55.000	\$ 660.000
2" FLG, RFWN 150LB S/XS BORE, ASTM A-105	27	EA	\$ 40.000	\$ 1.080.000
4" FLG, RF BLIND 150LB, ASTM A-105	4	EA	\$ 50.900	\$ 203.600
4" GASKET, 1/8" THK, 600LB	19	EA	\$ 7.000	\$ 133.000
4" GASKET, 1/8" THK, 150LB	40	EA	\$ 5.600	\$ 224.000
3" GASKET, 1/8" THK, 150LB	9	EA	\$ 3.000	\$ 27.000
2" GASKET, 1/8" THK, 150LB	15	EA	\$ 3.200	\$ 48.000
TEG Inicial	153686	Lb	\$ 5.321	\$ 817.763.206
DEA inicial	38660	Lb	\$ 5.466	\$ 211.315.560
<b>3. OBRAS CIVILES</b>				<b>\$ 348.442.025</b>
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>und</b>	<b>\$ unitario</b>	<b>\$ total</b>
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y PERSONAL	1	GLB	5.200.000	\$ 5.200.000
ASEO Y LIMPIEZA	5364	M2	\$ 3.000	\$ 16.092.000
TRANSPORTE DE MATERIAL EN VOLQUETA > 1KM	90000	M3-KM	\$ 900	\$ 81.000.000
LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO TOPOGRÁFICO	5364	M2	\$ 2.415	\$ 12.954.060
DESCAPOTE , LIMPIEZA MECANICA (incluye corte y cargue)	5364	M2	\$ 9.660	\$ 51.816.240
NIVELACION MECANICA DE TERRENO (No comprende construcción de terraplenes)	1877	M3	\$ 12.075	\$ 22.664.775
TALA DE ARBOLES < 6m	2	Und	\$ 74.750	\$ 149.500
EXCAVACION MANUAL CONGLOMERADO 0-2	470	M3	\$ 61.755	\$ 29.024.850
EXCAVACION MECANICA (Corte y cargue)	5364	M3	\$ 24.150	\$ 129.540.600

## Continuación tabla 9. Costo planta de tratamiento de biogás.

4. MONTAJE Y COSTO DE LOS EQUIPOS				\$ 1.065.888.962
Descripción	Cantidad	und	\$ unitario	\$ total
SEPARADOR DE MEDIA PRESIÓN	1	Und	\$ 46.131.215	\$ 46.131.215
SCRUBBER CONTACTORA	2	Und	\$ 38.007.966	\$ 76.015.932
INTERCAMBIADOR DE CALOR GAS/GAS	2	Und	\$ 40.013.625	\$ 80.027.251
CHILLER	1	Und	\$ 46.461.190	\$ 46.461.190
COMPRESORES DE GAS VENTAS	1	Und	\$ 79.585.203	\$ 79.585.203
COLUMNA REGENERADORA	2	Und	\$ 48.236.775	\$ 96.473.550
BOMBAS DE SUMINISTRO DE ACEITE	1	Und	\$ 40.065.241	\$ 40.065.241
COMPRESORES DE AIRE	1	Und	\$ 40.944.807	\$ 40.944.807
TANQUE PULMÓN DE AIRE INSTRUMENTOS INDUSTRIAL	1	Und	\$ 41.887.252	\$ 41.887.252
TEA	1	Und	\$ 52.715.305	\$ 52.715.305
TAMBOR DE TEA (K.O. DRUM)	1	Und	\$ 47.316.568	\$ 47.316.568
BOMBAS DE TAMBOR DE TEA (K.O. DRUM)	1	Und	\$ 45.091.869	\$ 45.091.869
BOMBAS DE TANQUE SUMIDERO	1	Und	\$ 46.285.834	\$ 46.285.834
BOTA DE GAS	1	Und	\$ 47.542.680	\$ 47.542.680
TANQUE SKIMMER Y FLOTACIÓN	1	Und	\$ 45.132.450	\$ 45.132.450
SISTEMA AGUA POTABLE	1	Und	\$ 61.751.501	\$ 61.751.501
SISTEMA DE GENERACION DE ELECTRICIDAD	1	Und	\$ 63.528.014	\$ 63.528.014
SALA DE CONTROL	1	Und	\$ 65.381.807	\$ 65.381.807
COMPRESOR	1	Und	\$ 43.551.294	\$ 43.551.294

Fuente: Autores

### 2.11 PRECIO DEL TERRENO


Para la implementación de este proyecto se requiere la compra de 15 hectáreas, las cuales deben estar ubicadas de acuerdo a los lineamientos del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), el valor de las 15 hectáreas es de \$75.000.000

### 2.12 COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE BIOGAS

Se calculan los siguientes valores de operación y mantenimiento.

**2.12.1 Costos de Operación.** A continuación se describe los costos de la operación de la planta de tratamiento de biogás al mes.


**Tabla 10. Costos de operación.**

<u>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</u>				
<b>Proyecto: CELDAS DE BIOGAS RELLENO SANITARIO BARRANCABERMEJA</b>				
<b>Proceso: Análisis de Precios Unitarios</b>			<b>Fecha: 14-jun-13</b>	
<b>TOTAL COSTO DE OPERACIÓN</b>			<b>\$ 34.410.000</b>	
Descripción	Cantidad	Valor Unitario	\$ total	
Operador	3	\$ 4.625.000	\$ 13.875.000	
Supervisor	2	\$ 7.400.000	\$ 14.800.000	
ADMINISTRACION 10%			\$ 2.867.500	
IMPREVISTOS 5%			\$ 1.433.750	
UTILIDAD 5%			\$ 1.433.750	

Fuente: Autores

**2.12.2 Costos de Mantenimiento Mensual.** A continuación se describe los costos de mantenimiento de la planta de tratamiento de biogás al mes.

**Tabla 11. Costos de mantenimiento mensual.**


<u>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</u>					
<b>Proyecto: CELDAS DE BIOGAS RELLENO SANITARIO BARRANCABERMEJA</b>					
<b>Proceso: Análisis de Precios Unitarios</b>				<b>Fecha: 14-jun-13</b>	
<b>TOTAL MANTENIMIENTO</b>				<b>\$ 7.601.480.634</b>	
Descripción	Cantidad	Und	Precio Unitario	\$ total	
TEG	894376	LBS	\$ 5.321	\$ 4.758.974.696	
DEA	288000	LBS	\$ 5.465	\$ 1.573.920.000	
ACEITE DE REPOSICION	5	GL	\$ 14.500	\$ 72.500	
MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR	0.083332	AÑO	\$ 1.000.000	\$ 83.332	
MANTENIMIENTO DE LAS TORRES1	0.01666666	AÑO	\$ 91.000.000	\$ 1.516.666	
ADMINISTRACION 10%				\$ 633.456.720	
IMPREVISTOS 5%				\$ 316.728.360	
UTILIDAD 5%				\$ 316.728.360	

Fuente: Autores

## 2.13 COSTO TOTAL DE M3 DE GAS TRATADO

A continuación se describe los costos de mantenimiento de la planta de tratamiento de biogás al mes.

**Tabla 12. Costo de M3 tratado.**

<u>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</u>					
<b>Proyecto: CELDAS DE BIOGAS RELLENO SANITARIO BARRANCABERMEJA</b>					
<b>Proceso: Análisis de Precios Unitarios</b>				<b>Fecha: 14-jun-13</b>	
<b>Costo de M3 Tratado</b>				<b>\$ 56.811</b>	
Descripción	Cantidad	Und	Valor	\$ total	
COSTOS DE OPERACIÓN	0.00000744	\$/Mt3	\$ 34.410.000	\$ 256	
COSTOS DE MANTENIMIENTO	0.00000744	\$/Mt3	\$ 7.601.480.634	\$ 56.555	

Fuente: Autores

## 2.14 PRECIO DE VENTA DEL GAS

El Precio del Gas natural en el mercado es de: \$ 340 M3

## 2.15 VENTA DE CER MENSUAL

La venta de los certificados de reducción de emisiones, se calcula con base al metano tratado, por lo cual se calcula el metano mensual en toneladas, y a este metano se multiplicara por 21, con el fin de calcular el CO2 equivalente, el precio en el mercado actual el precio es de \$1.006 por cada CER (CER= 1 tonelada de CO2 equivalente).

Metano tratado mensual = 45 toneladas CH<sub>4</sub>

CER = 45tonCH<sub>4</sub>\*21tonCO<sub>2</sub>eq/tonCH<sub>4</sub>=945 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes

Venta de los CER Mensual=945tonCO<sub>2</sub>eq\*1.006\$/tonCO<sub>2</sub>eq=\$950.670

Venta de los CER Anual=\$950.670\*12=\$11.408.040

## 2.16 UTILIDAD POR M3 DE GAS

Utilidad =340\$/Mt3-56.811\$/Mt3=-56.471\$/Mt3

## 2.17 UTILIDAD NETA ANUAL

Utilidad venta de gas anual = -56.471\$/Mt3\*2.293,7Mt3/D\*365D/Año=-  
-\$47.277.549.435,5

Utilidad neta anual=-\$47.277.549.435,5+\$11.408.040=-\$47.266.141.395,5

### 3. CÁLCULOS FINANCIEROS PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO.

Para determinar la factibilidad económica del proyecto utilizaremos, los cálculos de la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), realizando un análisis de dichos cálculos.

#### 3.1 TASA INTERNA DE RETORNO

A continuación se describe la inversión inicial del proyecto.

**Tabla 13. Inversión inicial del proyecto.**

INVERSION INICIAL DEL PROYECTO	
Costo Celdas Biogás	\$ 12.713.299.206
Costo Planta de Tratamiento	\$ 3.351.489.049
Compra de Terreno	\$ 75,000,000
Total inversión	\$ 16.139.788.255

Fuente: Autores

A continuación se relaciona el flujo de caja y tasa interna de retorno

**Tabla 14. Tasa interna de retorno.**

Periodo	Flujo de fondos	
0	-\$	16.139.788.255,0
1	-\$	47.266.141.395,5
2	-\$	47.266.141.395,5
3	-\$	47.266.141.395,5
4	-\$	47.266.141.395,5
5	-\$	47.266.141.395,5
6	-\$	47.266.141.395,5
7	-\$	47.266.141.395,5
8	-\$	47.266.141.395,5
9	-\$	47.266.141.395,5
10	-\$	47.266.141.395,5
TIR		incalculable

Fuente: Autores

Como se evidencia en el cálculo, la TIR no se puede calcular, esto se debe a que los ingresos anuales son negativos, y que ni proyectando este proyecto a más años, no cambiaría la inviabilidad del proyecto, ya que el costo de tratamiento del Biogás supera el valor del biogás tratado.

### 3.2 VALOR ACTUAL NETO

A continuación se relaciona el flujo de caja y valor actual neto

**Tabla 15. Valor actual neto.**

Periodo	Flujo de fondos
0	-\$ 16.139.788.255,0
1	-\$ 47.266.141.395,5
2	-\$ 47.266.141.395,5
3	-\$ 47.266.141.395,5
4	-\$ 47.266.141.395,5
5	-\$ 47.266.141.395,5
6	-\$ 47.266.141.395,5
7	-\$ 47.266.141.395,5
8	-\$ 47.266.141.395,5
9	-\$ 47.266.141.395,5
10	-\$ 47.266.141.395,5
VAN	-\$ 536.067.343.605,5

Fuente: Autores

En esta herramienta, la VAN el cual es otro indicador financiero, a diferencia del anterior (El cual mostraba la tasa de interés real del proyecto o rentabilidad, la cual era incalculable), esta herramienta nos sirve para saber, en 10 años cuánto dinero tenemos, en la cual se consideran factores como la inflación e interés de la inversión, indicado que a 10 años se tendría una pérdida total de \$ 536.067.343.605,5.

#### 4. CONCLUSIONES

A través del análisis de la TIR (tasa interna de retorno) y la VAN (Valor Neto de la Inversión) se puede justificar que no es factible desde el punto de vista económico, debido a que la inversión inicial es robusta e igualmente el flujo de caja es negativo, se puede evidenciar mejor en la VAN donde dicho valor a 10 años se tendría en arqueo de caja una deuda de \$ 536.067.343.605,5. Es necesario anotar que con la implementación de este proyecto se dejaría de emitir a la atmósfera cerca de 0,081 Millones de pies cúbicos diarios, los cuales en el ámbito local sería una reducción significativa de los gases de efecto invernadero, por lo cual ambientalmente es viable, pero a un costo financiero muy elevado.

Inclusive para ciudades que generan mayor cantidad de residuos, las pérdidas sería proporcionalmente, ya que la pérdida se encuentra en el costo del tratamiento, sirviendo el presente análisis como base para cualquier ciudad. Es evidente que el costo de las tecnologías empleadas supera económicamente la producción. Por lo cual se ve necesario el desarrollo de equipos para procesamiento de gas a baja presión y de caudales bajos, que traten la composición del biogás.

Durante el desarrollo de la presente propuesta el programa HYSYS demostró ser una herramienta muy apropiada para el análisis del proceso. Este unido a las hojas de cálculo de Excel y al programa de dibujo Autocad, brindan una visión objetiva que permitió el análisis de varias opciones en un tiempo de respuesta muy cómodo, y por los cuales se pudo determinar que la mayor inversión es la fabricación de las celdas de biogás, aunque después de construidas su mantenimiento en la línea del tiempo sería muy poco, sin embargo como se evidencio, el precio del gas comparado con el costo de tratamiento, con respecto a la línea de tiempo, nunca volvería un proyecto de este tipo rentable.

## 5. RECOMENDACIONES

Lo más recomendable, para disminuir costos al proyecto, sería vender dicho gas sin tratamiento alguno, a una industria que adapte sus equipos a la composición del biogás, con lo se construiría un gasoducto dedicado a dicha industria, o cogenerar energía eléctrica y vapor de agua, con lo cual se podría vender la energía eléctrica y el vapor de agua a un proceso industrial. Otra solución posible al biogás, sería utilizarlo en vehículos públicos (ya que la ciudad no cuenta con sistema transporte masivo en la ciudad), que acondicionen el kit de conversión para que funcionen con la composición del biogás, y por ende en lugar de construir una planta de tratamiento, se podría construir una estación surtidora de biogás vehicular.

Se recomienda realizar un estudio en el cual se realice el cálculo financiero a la venta de la biomasa resultante de la biodegradación (3 Años después de estar en celdas de biogás), dicha biomasa se transforma en un fertilizante orgánico, y que dado su cantidad, se podría industrializar su producción.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P. - Manual de operación y mantenimiento de la celda transitoria para la disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Barrancabermeja. Disponible en: [http://www.sui.gov.co/riesgo/anexos/sui\\_ane\\_2009\\_1\\_2361457\\_145072.pdf](http://www.sui.gov.co/riesgo/anexos/sui_ane_2009_1_2361457_145072.pdf). Consultado el 14 de junio de 2013

Barrancabermeja – Wikipedia. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Barrancabermeja>. Consultado el 14 de junio de 2013

Biogás – Wikipedia. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s>. Consultado el 07 de junio de 2013

EL TIEMPO - Biogás, el otro lío ambiental del Distrito. Disponible en: [http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW\\_NOTA\\_INTERIOR-12415924.html](http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-12415924.html). Consultado el 14 de junio de 2013

La BOLSA de SENDECO<sub>2</sub> - SISTEMA ELECTRONICO DE NEGOCIACION DE DERECHOS DE EMISION DE DIOXIDO DE CARBONO - PRECIOS CO<sub>2</sub>. Disponible en: [http://www.sendeco2.com/es/precio\\_co2.asp?ssidi=1](http://www.sendeco2.com/es/precio_co2.asp?ssidi=1). Consultado el 14 de junio de 2013

Modelo Colombiano de biogás – Biogás de rellenos sanitarios. Disponible en: <http://www.slideshare.net/andesco/2-biogasrellenos>. Consultado el 22 de julio de 2013

Olimpiadas Nacionales de Contenidos Educativos en internet – energías limpias - biogas. Disponible en: [http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/676/otras\\_energias/biogas/biog\\_c1.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c1.htm). Consultado el 14 de junio de 2013

Proactiva - MUNDO Proactiva – Cambio climático mecanismo de desarrollo limpio biogás Doña Juana. Disponible en: <http://www.proactiva.es/es/images/stories/Proactiva/Mundo%20Proactiva/mp%206w.pdf>. Consultado el 19 de julio de 2013

REDIS-UN. Red de ingeniería en saneamiento ambiental – Universidad del norte. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Disponible en: <http://www.uninorte.edu.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias%20II-SIIR/3d-Camargo-Colombia-001.pdf>. Consultado el 18 de junio de 2013

SANTOS SANTOS, Nicolás. Diseño y operación de unidades de tratamiento y procesamiento de gas, Septiembre del 2011.

Tecnología del biogás, energía de residuos orgánicos y cultivos energéticos. Disponible en:  
[http://www.upa.es/\\_clt/lt\\_cuadernos\\_9/pag\\_047-049\\_ABEnergy.pdf](http://www.upa.es/_clt/lt_cuadernos_9/pag_047-049_ABEnergy.pdf). Consultado el 25 de julio de 2013

Utilización de Biogás como fuente de energía – Instituto Tecnológico de Cd. Juárez. Disponible en:  
<http://www.uacj.mx/IIT/electricaComputacion/espectrotecnologico/ForoEnergiaRenovable/Mircoles%209%20Macroaula%20II/Utilizaci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20comofuente%20de%20energ%C3%ADa.pdf>. Consultado el 14 de julio de 2013

ZONA ECONOMICA. Calculo de TIR y VAN. Disponible en:  
<http://www.zonaeconomica.com/excel/van-tir>. Consultado el 24 de junio de 2013