

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL BIOGÁS OBTENIDO DEL
RELLENO SANITARIO EL CARRASCO**

**WILMAR FABIÁN SUÁREZ SOLANO
CARLOS ROMÁN SERRANO VESGA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA
DICIEMBRE DE 2005**

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL BIOGÁS OBTENIDO DEL
RELLENO SANITARIO EL CARRASCO**

**WILMAR FABIÁN SUÁREZ SOLANO
CARLOS ROMÁN SERRANO VESGA**

**Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniero en energía**

**Director:
MARIA FERNANDA GOMEZ GALINDO
Ingeniera Química
MsC. Ingeniería en energías renovables**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
SOLUCIONES TECNOLOGICAS, ENERGETICO – AMBIENTALES CON BASE
EN FUENTES DE ENERGIA RENOVABLE
BUCARAMANGA
DICIEMBRE DE 2005**

Nota de Aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Director

Bucaramanga Diciembre 22 de 2005

DEDICATORIA

Los autores Wilmar Fabián Suárez Solano y Carlos Román Serrano Vesga queremos dedicarles este trabajo a nuestros padres, quienes con su incondicional apoyo, esfuerzos y amor plasmado en ayuda efectiva para lograr la culminación de nuestros estudios, fueron las bases que nos permitieron construir todo un proceso de crecimiento tanto técnico como humano con el desarrollo del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este estudio de prefactibilidad queremos en primer lugar agradecer a Dios por lograr llegar a la culminación de este interesante trabajo y por las bendiciones recibidas en el transcurso de su realización.

Por otra parte también queremos manifestar nuestros mas sinceros agradecimientos a la ingeniera Maria Fernanda Gómez Galindo, quien con su incondicional apoyo y orientación se convirtió en un pilar para el desarrollo de este proyecto

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	19
1. LOS RESIDUOS SÓLIDOS	21
1.1 FUENTES DE PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	22
1.2 ACCIONES PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN RESIDUOS SÓLIDOS	22
1.2.1 Reducir la producción de desechos	22
1.2.2 Reparar los Objetos que son Desechos Potenciales	23
1.2.3 Reutilizar los desechos	23
1.2.4 Reciclar	24
1.3 REPERCUSIONES QUE TRAE CONSIGO LOS RESIDUOS SÓLIDOS	24
1.4 CÓMO CONTROLAR O DISPONER LOS RESIDUOS SÓLIDOS PARA MINIMIZAR SUS EFECTOS NOCIVOS	25
1.5 GESTION DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNDO Y EN COLOMBIA	27
1.5.1 Alemania	27
1.5.2 Dinamarca	28

1.5.3 España	29
1.5.4 Cali, Valle del Cauca	30
1.5.5 Medellín, Antioquia	31
1.5.6 Santa fe de Bogotá	32
2. EL RELLENO SANITARIO: LA OPCION MAS IMPLEMENTADA ACTUALMENTE PARA LA DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	34
2.1 DEFINICIÓN DE RELLENO SANITARIO	36
2.2 CONSTRUCCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO	36
2.2.1 Criterios de Selección del Lugar	37
2.2.2 Métodos Para la Construcción de un Relleno Sanitario	37
2.2.3 Material de Cobertura	38
2.3 REACCIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN EL CUERPO DEL RELLENO	41
2.4 GENERACIÓN DE LOS LIXIVIADOS	42
2.4.1 Tecnologías Para El Tratamiento De Lixiviados	43
2.5 CONTROL E INSPECCION EN LOS RELLENOS SANITARIOS	44
2.6 VENTAJAS DE LOS RELLENOS SANITARIOS	46

2.7 DESVENTAJAS DE LOS RELLENOS SANITARIOS	47
3. EL CASO DEL RELLENO SANITARIO EL CARRASCO EN BUCARAMANGA SANTANDER	48
3.1 HISTORIA DEL CARRASCO	49
3.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS ZONAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS EN EL CARRASCO	50
3.2.1 Cárcava I	51
3.2.2 Cárcava II	51
3.2.3 Cárcava III	51
3.3 LOCALIZACIÓN	51
3.3.1 Descripción del entorno	52
3.4 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	52
3.5 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS	53
3.6 COMPORTAMIENTO DE LOS OLORES OFENSIVOS EN EL ENTORNO	53
3.6.1 Estudio Organoléptico	55
3.7 DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO	55
3.7.1 Información Geológica	55

3.7.2 Capacidad del relleno sanitario	56
3.8 DISPOSICION HISTÓRICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	57
3.8.1 Registro Histórico de Residuos Recibidos en el Relleno Sanitario El Carrasco	58
3.9 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	58
3.9.1 Composición Física Consolidada De Los Residuos Sólidos	60
3.9.2 Composición Química De Los Residuos Sólidos	60
4. EL BIOGÁS Y SU VIABILIDAD DE UTILIZACIÓN COMO FUENTE DE ENERGÍA	62
4.1 EL BIOGÁS	64
4.1.1 Propiedades de los componentes del Biogás	64
4.2 APLICACIONES	65
4.2.1 Utilización directa del biogás in situ	66
4.2.2 Generación de Energía Eléctrica	66
4.2.3 Motores de Combustión Interna	68
4.2.4 Cogeneración	70
4.3 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN ACTUAL DE BIOGÁS	71

4.3.1 Sistema actual de venteo	77
4.3.2 Mediciones De Biogás En Campo	77
4.3.3 Recuperación Actual Y Potencial De Biogás	78
5. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LAS OPCIONES SELECCIONADAS	78
5.1 ANÁLISIS TÉCNICO	80
5.1.1 SISTEMA DE COLECCIÓN DE BIOGÁS	80
5.1.2 PLANTA DE COGENERACIÓN	81
5.2. ANALISIS AMBIENTAL	82
5.3. ANALISIS ECONOMICO	87
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFIA	100
ANEXOS	103

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Método de trinchera para construcción de rellenos sanitarios	39
Figura 2 Método de área para construcción de rellenos sanitarios	40
Figura 3 Combinación de métodos de área y trinchera para la construcción de rellenos sanitarios	41
Figura 4 Zonas que componen el Carrasco con sus limites	49
Figura 5 Generación convencional de energía eléctrica vs cogeneración	73
Figura 6 Sistemas de cogeneración	75

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Registro histórico de recepción de residuos en el Carrasco	59
Tabla 2 Composición de los residuos orgánicos que ingresan al Carrasco	60
Tabla 3 Composición de los residuos reciclables y de construcción que ingresan al Carrasco	61
Tabla 4 Composición de otros residuos y residuos biológicos que ingresan al Carrasco	62
Tabla 5 Composición química de los residuos	63
Tabla 6 Propiedades de los componentes del biogás	65
Tabla 7 Eficiencias de diferentes sistemas de cogeneración	75
Tabla 8 Mediciones de biogás en campo	78
Tabla 9 Índices de recuperación de biogás	79
Tabla 10 Datos constructivos del motor	82
Tabla 11 Balances energéticos	83
Tabla 12 Resumen estimado de producción de emisiones	89

Tabla 13 Niveles de producción y reducción de emisiones de gases efecto invernadero	91
Tabla 14 Costos del sistema de colección y control de biogás	93
Tabla 15 Operación y mantenimiento del sistema de colección	93
Tabla 16 Costos de monitoreo y verificación del proyecto	94
Tabla 17. Indicadores económicos proyecto sin financiación	94
Tabla 18. Indicadores económicos proyecto financiado	94
Tabla 19 Resumen de costos alternativa 1	95
Tabla 20 Costos montaje y puesta en marcha de la planta de cogeneración y evaporación de lixiviados	96
Tabla 21 Costos de operación y mantenimiento de los sistemas	96
Tabla 22 Costos de monitoreo y verificación	96
Tabla 23. Indicadores económicos proyecto sin financiación	97
Tabla 24. Indicadores económicos proyecto financiado	97
Tabla 25 Resumen de costos alternativa 2	98

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO A. Sistema de colección de biogás	103
ANEXO B. Flujo económico del proyecto para la alternativa 1: Combustión Directa del Biogás y evaporación de lixiviados	105
ANEXO C. Flujo económico para Alternativa 2: Planta de cogeneración con biogás y sistema de evaporación de lixiviados	113

GLOSARIO

Caracterización de los residuos. Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades.

Chimenea. Estructura de ventilación que permite la salida de los gases producidos por la biodegradación de los residuos sólidos.

Cobertura diaria. Capa de material natural y/o sintético con que se cubren los residuos depositados en el relleno sanitario durante un día de operación.

Cobertura final. Revestimiento de material natural y/o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario, para facilitar el drenaje superficial, interceptar las aguas filtrantes y soportar la vegetación superficial.

Disposición final de residuos sólidos. Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

Gas generado en el relleno. Es el gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia y/o aerobia, o por efectos de reacciones químicas de los residuos sólidos dispuestos.

Lixiviado. Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

Material de cobertura. Material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario.

Monitoreo. Actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones continuas de una característica, elemento, parámetro o de un proceso en un sitio y periodo determinados, con el objeto de verificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública.

Relleno sanitario. Es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final.

Residuo sólido o desecho. Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas,

industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos, entre otros, aquellos provenientes del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles.

RESUMEN

El trabajo realizado en este proyecto de grado consistió en analizar una serie de alternativas para el aprovechamiento energético del biogás generado en el relleno sanitario el Carrasco, de las cuales surgieron dos propuestas bastante interesantes que fueron materia de estudio:

- Combustión directa del biogás y evaporación de lixiviados.
- Planta de cogeneración con biogás como combustible y sistema de evaporación de lixiviados.

Los cuales resultaron interesantes pues con las dos se puede controlar la producción de biogás y tratar los lixiviados generados, aunque la segunda alternativa presenta un beneficio adicional de gran impacto social cual es la generación de electricidad, lo que le da gran importancia en cuanto al mejor aprovechamiento energético.

Se puede concluir del análisis de las dos propuestas que para el desarrollo de estas alternativas es poco rentable recurrir a la financiación por parte de alguna entidad bancaria ya que no se compensa la rentabilidad del proyecto con los compromisos adquiridos con una entidad de financiación.

INTRODUCCION

A raíz de que los rellenos sanitarios se han venido convirtiendo en una de las técnicas más utilizadas para la disposición final de los residuos sólidos generados por el hombre se han venido dando una serie de situaciones que hacen necesario implantar una serie de procesos para controlar tanto los productos a disponer como sus derivados a causa de la biodegradación de la materia.

Hasta hace pocos años se empezaron a implementar programas y leyes que apoyan y propenden por la conservación del medio ambiente, pues si se destruye el ambiente que en si es el hábitat de las personas, por ende se llegará a la destrucción de estas.

Dos de los factores mas relevantes de la operación de un relleno sanitario son la generación de biogás y la producción de lixiviados, dos materias con las cuales hay que tener cuidado al tratar, pues en el caso del biogás si no se extrae y se permite una gran acumulación se puede convertir en una materia explosiva, por otra parte si se extrae por venteo pasivo debido a su contenido de metano se convierte en un agente altamente contaminante para el medio ambiente en el caso del efecto invernadero. Para el caso de los lixiviados hay que tener en cuenta su composición para darle su correspondiente tratamiento, es decir hay lixiviados que contienen elementos que les impiden utilizarse como nutrientes para la tierra y hay que disponerlos en un sitio aparte donde puedan ser controlados.

La descomposición de los residuos orgánicos en los rellenos sanitarios genera gases combustibles que son recibidos directamente por el ambiente sin ningún tipo de control; los cuales además de contener olores ofensivos perjudiciales para la salud de las personas que debido al crecimiento de la ciudad viven cerca del lugar; están en gran parte contribuyendo al calentamiento global del planeta y a la formación de lluvia ácida.

El estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento energético del biogás generado en el relleno del carrasco responde a la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, los olores ofensivos y la proliferación de plagas causantes de múltiples enfermedades infecto contagiosas; además propende por realizar el aprovechamiento energético del gas para así dar valor agregado al proyecto, poniéndolo como una fuente de ingresos para la empresa a costa de recuperar la inversión del mismo; además de ganar utilidades para los inversionistas y por supuesto reducir el fuerte impacto ambiental que se da por los gases que emite este sitio.

En primera instancia se seguirán una serie de procedimientos como revisiones bibliográficas de la situación del carrasco, las características de los residuos que ingresan a este, como se realiza actualmente su disposición; además se hará un análisis de las posibles alternativas para controlar correctamente los productos del relleno como el biogás y los lixiviados producidos. Finalmente se evaluará la alternativa y/o alternativas seleccionadas.

1. LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Los avances que ha venido generando la humanidad desde sus comienzos y en especial los últimos años son impactantes: mientras que hace un milenio las personas se alejaban algunos cientos de kilómetros de su lugar de nacimiento para explorar someramente su entorno, ahora casi no existen lugares inexplorados, por remotos que sean.

Se han explorado extensos desiertos, alcanzado las cumbres más altas, descendido a las profundidades de los océanos y hasta visitado la Luna; y en todos esos lugares el hombre ha dejado su huella y también “basura”.

Pocas de las cosas que botamos cada día son realmente inútiles, pues la mayor parte podrían ser recicladas, reparadas o reutilizadas.

Los desechos sólidos se clasifican bajo ciertos criterios:

- En relación a su fuente de origen, se los puede clasificar en desechos domiciliarios, industriales y comerciales.
- De acuerdo a su composición química en orgánicos e inorgánicos.

- Finalmente para referirnos a su composición se clasifican en: restos vegetales, animales y comestibles; papeles y cartones; metales; plásticos; vidrios y otros.

1.1 FUENTES DE PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

El desarrollo tecnológico ha significado una mejor calidad de vida para el ser humano, pero también es una de las mayores causas del aumento de la basura en el planeta; con la introducción al mercado de productos desechables y no biodegradables como el plástico, además de productos con composiciones altamente tóxicas para el medio ambiente, como aceites de motor, pinturas, barniz, baterías, entre otros; los cuales sumados a las costumbres de la sociedad de generar y consumir productos de vida útil corta, además de la ignorancia de un alto número de personas acerca de las consecuencias que trae la generación y mala disposición de las basuras, se convierte en un grave y delicado problema de contaminación.

1.2 ACCIONES PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN RESIDUOS SÓLIDOS

Para el manejo de los residuos sólidos, se debe tener en cuenta cuatro líneas de acción que en su orden se establecen de la siguiente manera:

1.2.1 Reducir la producción de desechos: Una muy buena solución al problema de los desechos es no producirlos. A veces compramos productos

innecesarios, desechables, tóxicos, o con envases y envolturas excesivas; para reducir la cantidad de basura que generamos, debemos empezar cambiando nuestras costumbres cotidianas el lo referente al manejo de las basuras. Por ejemplo, preferir la compra de productos de buena calidad y durables; comprar sólo lo que realmente se necesita; extender la vida útil de un producto; preferir envases grandes con pocas envolturas; llevar nuestras propias bolsas cuando vayamos de compras; entre otras, son solo algunas de las actitudes que podemos emplear en la reducción de los residuos, actitudes fáciles, económicas y de un gran valor en lo referente a disminución de la generación de residuos y de contaminación del ambiente.

1.2.2 Reparar los Objetos que son Desechos Potenciales: Hoy en día muchos productos son fabricados para tener una vida útil corta o mejor dicho para que sean desechables, esto crea una gran cantidad de desechos que van a los vertederos y que se convierten en un problema para el medio ambiente y por supuesto para nosotros mismos.

Como consumidores podemos elegir comprar productos de buena calidad que tienen larga vida; aunque a veces, hacer esto pueda resultar más caro que comprar un producto de menos calidad; otra manera de reducir los desechos que botamos es optar por reparar las cosas cuando sea necesario, en vez de tirarlas a la basura para comprar otras nuevas.

1.2.3 Reutilizar los desechos: Esto esencialmente consiste en dar el máximo de usos a un producto antes de considerarlo basura; se puede reutilizar un

producto para la misma función que fue creado, por ejemplo: las botellas de bebida retornables, el papel se puede usar por las dos caras para escribir.

También es posible reutilizar un producto para una función diferente, por ejemplo, los tarros de pinturas pueden ser reutilizados como materos, las cajas de cereales o bolsas de arroz para trabajos manuales o artesanales.

1.2.4 Reciclar: Reciclar consiste en devolver al ciclo productivo los residuos que pueden ser reutilizados como materia prima, por ejemplo: papeles, cartones, vidrios, materiales plásticos. El proceso de reciclar ahorra recursos naturales y energía, además de reducir la cantidad y la contaminación de desechos en un vertedero.

1.3 REPERCUSIONES QUE TRAEN CONSIGO LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Cuando nos referimos a los desechos sólidos, estamos tratando con un enemigo potencial que de no ser tratado debidamente puede volverse muy peligroso, y lo peor de todo es que se encuentra con nosotros siempre, desde siempre y para siempre.

La basura se puede convertir en una peligrosa amenaza si no se dispone debidamente, ya que debido a la acumulación de gases combustibles producto de la biodegradación de la materia orgánica puede dar origen a una poderosa bomba explosiva (hecho ocurrido en el lugar de disposición final de residuos “Relleno Doña Juana” en Santa Fe de Bogotá en el año de 1997). También se convierte en contaminante de acuíferos subterráneos al ingresar a las entrañas de la tierra los lixiviados (líquidos producidos en la biodegradación orgánica) y mezclarse con los yacimientos de agua; sin contar con la mano destructiva e ignorante de algunas personas que para deshacerse de la basura, decide quemarla a cielo abierto sin

darse cuenta de la generación de sustancias tóxicas que se generan no solo para el ambiente sino también para los seres que tienen contacto con ellas.

Las anteriores son solo algunas de las múltiples y variadas repercusiones que a consecuencia de la basura pueden experimentar el medio ambiente y sus habitantes.

1.4 CÓMO CONTROLAR O DISPONER LOS RESIDUOS SÓLIDOS PARA MINIMIZAR SUS EFECTOS NOCIVOS

Para tratar de controlar la basura, hay que optar por unos cuantos cambios en las costumbres que tenemos habitualmente, no basta con querer hacerlo hay que actuar: podemos empezar con tomar conciencia del problema que representa la basura mal dispuesta en el presente y hacia el futuro, hay que aplicar las 4 R anteriormente mencionadas y explicadas (reducir, reparar, reutilizar y reciclar).

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos, siempre será necesario disponer cierta cantidad de desechos en un lugar específico. Una de las opciones más utilizadas es la de los rellenos sanitarios; esta posibilidad ha tomado fuerza y actualmente se ha convertido en una técnica bastante eficiente y eficaz en el tratamiento y disposición de los residuos sólidos y las sustancias que se generan en el proceso de biodegradación; en estos se disponen las basuras y mediante diferentes

técnicas y sistemas de control, se realiza la degradación de la materia orgánica, se controla la generación de gases y la producción de lixiviados, colaborando enormemente a la reducción de la contaminación medio ambiental que puede darse si se opta simplemente por tirar la basura en cualquier sitio.

También existen otras técnicas para la disposición final de los desechos sólidos como la incineración y el compostaje; este último es una técnica sencilla para la biodegradación de la materia orgánica, la cual consiste en compactar la materia orgánica con un material de cobertura (tierra) y dejarlo durante un lapso determinado de tiempo. Este tiempo es directamente proporcional a la cantidad de materia que se va a compostar, en este periodo mediante procesos anaeróbicos, la materia orgánica se degrada dando como resultado una sustancia llamada compost, que al final es un abono de excelente calidad para el suelo, pues posee un alto contenido de nutrientes; es importante que para que el compost no se convierta en una amenaza para el suelo, la materia orgánica que se va a degradar debe estar libre de contaminantes como metales y compuestos de residuos clínicos.

Por otra parte la incineración también se constituye en un método de tratamiento y eliminación de los residuos sólidos, esta consiste en quemar los residuos en calderas para la producción de vapor, el proceso en una caldera tipo para esta aplicación se realiza aproximadamente a una presión y temperatura del hogar de 45 bar y 1185 C, lo que ayuda a reducir las emisiones de contaminantes altamente nocivos como dioxinas y metales pesados contenidos en los residuos.

1.5 GESTION DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNDO Y EN COLOMBIA

La gestión de residuos sólidos en el mundo ha evolucionado a medida que se ha venido tomando conciencia de la importancia de la conservación del medio ambiente para la subsistencia humana, en unos países mas que en otros se han implantado programas para el control de los residuos que son mas eficientes y que aunque no reduzcan la producción de estos, la mantiene constante o con un aumento lento; también veremos que la conciencia social con que se afronte esta situación permite desarrollar los programas de una mejor manera.

A continuación mostramos la manera como se realiza la gestión integral de residuos sólidos en el mundo y en algunas ciudades de nuestro país.

1.5.1 Alemania: Hasta fines de los años 70, la única forma de eliminar los residuos sólidos en Alemania consistía en la disposición en vertederos, lo que causó una grave contaminación de los suelos y aguas, y se registraron daños que finalmente causaron graves perjuicios a la economía nacional.

Los primeros esfuerzos por cambiar esta situación apuntaban a crear rellenos sanitarios, mejorar la seguridad de los ya existentes y perfeccionar las plantas de incineración de residuos sólidos, para que éstas últimas trabajaran en forma más limpia. Sin embargo, se comprendió que la disposición no ofrecía seguridad alguna a largo plazo. De este modo, se comenzó a discutir la incorporación en la gestión de residuos de formas sustentables de producción y consumo (crear la responsabilidad del productor en la industria y el comercio, y desarrollar una conducta de consumo orientada a la salud y el medio ambiente), así como el desarrollo de un paradigma orientado al flujo de materiales en el marco de la economía de residuos sólidos.

Los objetivos fueron: en primer lugar, tratar de evitar la generación de residuos. Sólo cuando ello no es posible, tratar de reciclar los residuos. Y recién, si el reciclaje tampoco es posible, depositar los residuos tras un tratamiento adecuado.

El objetivo es diseñar los productos de tal forma que, tanto en la fabricación de éstos como en su uso o consumo, se reduzca la generación de residuos sólidos y se asegure un reciclaje y una eliminación de los desechos compatible con el medio ambiente.

El hecho de que el fabricante siga siendo responsable incluso después de la venta del producto se basa en el principio "quien contamina paga"; esta responsabilidad es regulada además en el marco del derecho de responsabilidad ambiental. Al mismo tiempo, se tiene en cuenta que el fabricante conoce mejor los posibles riesgos que implica su producción y sus productos, y que él mismo puede apreciar mejor las posibilidades de reciclaje.

La responsabilidad del producto significa que, antes de iniciar la producción y en el marco de su diseño, se deben determinar el tratamiento y la eliminación de los residuos, el sistema de ciclo, el desmontaje y la conservación del valor de los materiales. El hecho de que el volumen de los residuos domiciliarios no haya variado a pesar del incremento del consumo, comprueba que el sistema de economía de ciclo ha sido un éxito.

1.5.2 Dinamarca: En este país existe el pago para el tratamiento de los residuos domiciliarios, basado en el pago de un impuesto por casa. Durante los años 90s, 18 municipios daneses introdujeron el principio contaminador-pagador hacia los hogares, en un intento por prevenir la generación de residuos y aumentar el reciclaje. La iniciativa se basa en pesar el cubo de la basura al momento de vaciarlo. El camión de compactación de basura realiza esta operación

automáticamente, y una placa electrónica especial en el cubo de basura lo identifica en forma electrónica. Los datos del peso se tabulan electrónicamente desde el camión al sistema de pago del honorario. El sistema genera entonces una cuenta individual para cada casa.

En varios municipios, la separación en la fuente de la basura orgánica domiciliaria se ha introducido simultáneamente con el sistema de peso, y en algunos municipios el impuesto para la basura orgánica es más bajo que el impuesto para aquella basura domiciliaria no separada.

La introducción de este sistema de pago basado en la cantidad de basura entregada ha reducido claramente la cantidad de basura domiciliaria mezclada y aumentado la basura recogida a través de esquemas de reciclaje en el país danés. Los análisis preliminares demuestran que el pago de un honorario por kilo no ha cambiado el comportamiento del consumidor y que la prevención en la generación de basura no puede esperar. Sin embargo, las casas en municipios con este sistema recolectan menos basura que los municipios que no lo tienen. Los ciudadanos están satisfechos con el sistema y los honorarios totales tienden a ser más bajos en estos municipios.

1.5.3 España: Por el contrario de países como Alemania y Dinamarca, en España se vive una situación bastante seria con los residuos sólidos, pues se encuentran un poco atrasados en la implementación de tecnologías y programas para contrarrestarlos y disponerlos.

Actualmente se generan en España 17.175.186 de toneladas de residuos urbanos, es decir, 1,2 Kg. /día por habitante. En los últimos diez años, la producción de

residuos urbanos ha aumentado en España por encima del 70%. De los residuos generados, un 74,4% se destina a vertederos, cifra todavía superior a la media de los países de la Unión Europea que se encuentra cifrada en un 60%. De estas basuras, un 13% se destina a compostaje y un 11,6% se recicla. La incineración sólo supone un 4,2%, cifra muy inferior a la media de otros países que tienen tasas aproximadas del 19%.

Para afrontar esta situación el año 2000 fue aprobado el Plan Nacional de Residuos Urbanos 2000-2006, el cual permite cumplir con la Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea, así como desarrollar la Ley de Residuos, aprobada el 21 de abril de 1998 en ese país.

Este Plan Nacional tiene los siguientes objetivos:

- La clausura y sellado de todos los vertederos incontrolados que existen en el país antes del año 2005;
- La construcción de estaciones de transferencia de residuos;
- La adaptación de las actuales instalaciones a la futura Directiva sobre vertederos;
- El cierre de las plantas de incineración que no recuperen energía.

El Plan Nacional de Residuos Urbanos prevé inversiones que superan los 47 mil millones de euros, destinados a la prevención y minimización; la recuperación y el reciclaje; al programa nacional de envases y residuos de envases; al compostaje; la valorización energética; la eliminación y a campañas de sensibilización.

Las previsiones del Plan Nacional de Residuos Urbanos son llegar a las siguientes tasas de reciclado: 75% de reciclado de papel y cartón, 75% de vidrio, 40% de plástico, 90% de metales y 50% de otros materiales, en el horizonte de los años 2000-2006, plazo de vigencia del Plan Nacional de Residuos Urbanos. De cumplirse este Plan, España será uno de los países con la política de residuos más avanzada.

1.5.4 Cali, Valle del Cauca: Cali es una de las ciudades más importantes de Colombia por su economía y además por ser una de las más grandes y habitadas, pues su población asciende alrededor de 4 millones; al igual que la mayoría de las poblaciones en el mundo, Cali comenzó a realizar la disposición de sus residuos sólidos urbanos de manera rudimentaria y sin ningún control ambiental (pues en la época el tema del cuidado y protección del medio ambiente no era muy entendido por la población y por ende no se enfatizaba en el cuidado del mismo), se disponían en un lugar llano y deshabitado a cielo abierto, en un sitio llamado “Navarro” , un típico botadero de basuras en cual con el tiempo el único tratamiento que recibía era cubrir con tierra la basura y compactarla con una aplanadora.

El basurero el Navarro afortunadamente para la ciudad, fue cerrado y reemplazado por un relleno sanitario transitorio con todas las especificaciones técnicas requeridas por las leyes ambientales existentes para un buen funcionamiento y control del nocivo impacto ambiental que se deriva de las basuras dispuestas incorrectamente. Los líderes políticos de la ciudad están trabajando arduamente en este tema que es de vital importancia para la ciudad y para su desarrollo, pues con este proyecto se mejora la calidad de vida de los caleños y se contribuye a la disminución de la contaminación que existe en la actualidad.

Algunas características del proyecto sobre el relleno sanitario de Cali son:

- El relleno sanitario de Cali podría quedar ubicado en el lote Curazao, el cual se encuentra ubicado en el corregimiento de El Hormiguero.
- El terreno disponible para el proyecto tiene una extensión de 60 hectáreas y un costo de \$1.800 millones.
- Cada hectárea del lote se comprará a razón de \$30 millones siempre y cuando se le conceda licencia ambiental por parte de la autoridad competente.
- El desarrollo del relleno sanitario demandará inversiones cercanas a los \$10.000 millones.
- El relleno sanitario a construir en el lote Curazao podría recibir las basuras y residuos sólidos que la ciudad produzca durante los próximos 50 años.
- El relleno recibiría aproximadamente 1.700 toneladas diarias de basuras. De ellas Cali produce 1.600 toneladas y Yumbo y Jamundí las 100 restantes.

1.5.5 Medellín, Antioquia: La elevada montaña de basura en la que se convirtió el botadero municipal en Moravia permitió que en Medellín se desarrollara una conciencia ambiental de reciclaje desde hace unos 40 años. Pero esta conciencia solo fue aceptada y vivida por un grupo aislado de entidades que se propusieron trabajar en el campo ambiental en la zona.

Sin embargo, los esfuerzos de dichos grupos de no fueron suficientes pues hoy día el Valle de Aburrá afronta un grave problema en el manejo de residuos sólidos por el cierre del relleno en la Curva de Rodas (otro de los tantos rellenos del país que

desde sus inicios de trabajo, se trató como simple botadero de basura y que los dirigentes al darse cuenta de la magnitud del problema que se acercaba, intentaron por todos los medios de adaptarlo como relleno y solucionar todo de la noche a la mañana).

Un estudio realizado por Codesarrollo en 1982 para determinar la vida útil de la Curva de Rodas establecía que este relleno tenía capacidad para 10 años o máximo 15; con acciones y campañas de reciclaje que varios acogieron, la vida útil del relleno aumento unos años más, pero, por errores de planeación y de toma de decisiones no se previó que el relleno debía ser cerrado algún día, y hoy se encuentran tratando de hallar una solución rápida y definitiva.

La única opción para reemplazar el relleno de la Curva de Rodas, donde se depositan las 2.500 toneladas diarias de basuras de Medellín, es un terreno de 290 hectáreas ubicado en la vereda La Pradera, a 47 kilómetros de la capital antioqueña. Uno de los inconvenientes con este lote es el encarecimiento del valor del terreno, cuyo avalúo es de 1.800 millones de pesos pero el valor de venta es superior a los 20 mil millones de pesos.

Las autoridades ambientales de la ciudad han hecho varias solicitudes a Corantioquia para que prorrogue la vida útil de la Curva de Rodas, hasta que se ponga en marcha un programa para el manejo integral de residuos sólidos urbanos.

Se esta corriendo contra el tiempo para no tener que vivir una emergencia sanitaria; esta situación no es ajena a muchas ciudades del país que también viven a la expectativa de llegar a una solución rápida, eficaz y eficiente para el

tema de los residuos sólidos.

1.5.6 Santa fe de Bogotá: Un caso similar a los anteriores ocurre con Santa Fe de Bogotá y su relleno Doña Juana. En el cual en el año 1997, debido a la acumulación de gas producido por la descomposición de la materia orgánica, produjo una explosión interna que terminó con un gran derrumbe que afectó varios asentamientos urbanos que estaban cerca del lugar.

Después de ocurrido este suceso, se empezó a trabajar en el estudio de soluciones prácticas para la extracción y posterior aprovechamiento del biogás generado por este gran relleno; llegando a una propuesta bastante interesante para el gobierno local y nacional, ya que se le podía dar un aprovechamiento energético al biogás y por que se podían obtener ingresos económicos derivados de la implantación del proyecto.

Las ideas más atractivas y de mayor interés tienen que ver con la utilización del biogás como fuente de energía para la generación eléctrica, o simplemente para utilizarlo como gas domiciliario. Según las proyecciones realizadas, el relleno sanitario Doña Juana produciría 1.000 millones de pies cúbicos de gas metano hasta el año 2014.

Los planes del manejo y aprovechamiento de el relleno sanitario y sus derivados (biogás) contempla, entre otros aspectos, la ampliación de la planta de tratamiento de lixiviados y la posible entrega por concesión del sistema de recolección, transporte y disposición de los escombros que se producen en la ciudad,

calculados en 17 mil toneladas diarias. Igualmente, plantea la conformación de la Empresa Distrital de Reciclaje y el programa de selección de basuras; se estima que el paquete completo para el desarrollo de las ideas propuestas sea aproximadamente de 4.718 millones de pesos para los primeros 4 años.

Este trabajo se ocupa del análisis específico del relleno sanitario El Carrasco que atiende el área metropolitana de Bucaramanga y otros municipios del departamento a cuya descripción se ocupa el próximo capítulo.

2. EL RELLENO SANITARIO: LA OPCION MAS IMPLEMENTADA ACTUALMENTE PARA LA DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

2.1 DEFINICIÓN DE RELLENO SANITARIO

El Relleno Sanitario es un sistema diseñado para la disposición final de los desechos sólidos generados en las diferentes actividades que diariamente realizan las personas en el medio donde habitan; dicho método consiste en acondicionar un terreno determinado para depositar allí los desechos sólidos, cubriéndolos con capas de tierra diariamente y compactándolos para reducir su volumen; además mediante sistemas de conducción y extracción evita los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Con la construcción de un relleno se llega a evitar las molestias y peligros para la salud y seguridad pública ocasionados como consecuencia de los desechos; por otra parte tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo.

2.2 CONSTRUCCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

Para construir un relleno sanitario es importante seleccionar el terreno que reúna condiciones técnicas adecuadas como son: topografía, nivel a que se encuentran las aguas subterráneas y disponibilidad de material para cubrir la basura.

2.2.1 Criterios de Selección del Lugar: La Selección del lugar de construcción de un relleno sanitario tiene tres componentes muy importantes (factores económicos, técnicos y ambientales); de los que depende en gran parte el buen funcionamiento de este.

Factores Económicos:

- Distancia del área de procedencia de los desechos.
- Propiedad del terreno en cuestión (privada o del estado).
- Dimensiones del terreno y posibilidades de expansión.
- Vías de acceso.

Factores Ambientales:

- Protección de las aguas superficiales (fuentes superficiales, nacimientos de agua).
- Valor ecológico del terreno en cuestión; existencia de áreas protegidas.
- Proximidad a áreas habitadas.

- Morfología del terreno (Posibilidad de evacuar los lixiviados con pendiente natural).
- Aspectos climatológicos (viento, precipitación, radiación, etc.).

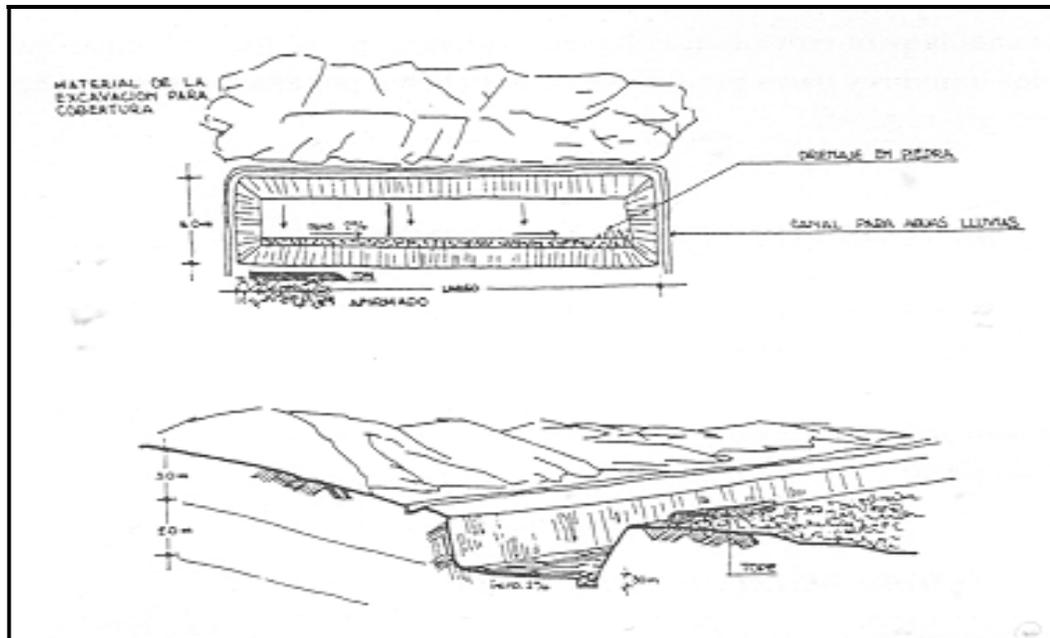
Factores Técnicos:

- Morfología del terreno: se prefiere la construcción en terreno plano o ligeramente inclinado.
- Condiciones sísmicas; presencia de fallas geológicas.
- Estructura y composición del suelo.
- Nivel de las capas freáticas.
- Existencia de material apropiado para la cobertura.
- Volúmenes de basura.

2.2.2 Métodos Para la Construcción de un Relleno Sanitario: De acuerdo con las características del terreno, el relleno sanitario puede construirse siguiendo los métodos de área, zanja o una combinación de ambos métodos.

Método de trinchera o zanja:

Figura 1. Método de trinchera para construcción rellenos sanitarios



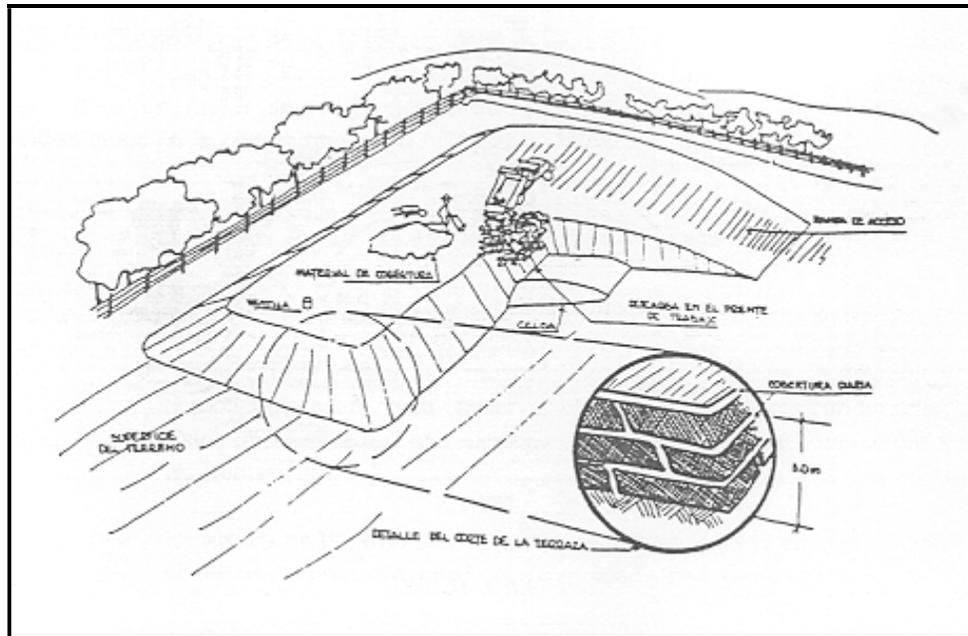
Fuente. Biblioteca virtual Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad, La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra.

Se debe tener cuidado en época de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. Por lo tanto, se deben construir canales para desviarlas e incluso proveerlas de drenajes internos. En casos extremos, puede requerirse el bombeo del agua acumulada.

Método de área:

Figura 2. Método de área para la construcción de rellenos sanitarios

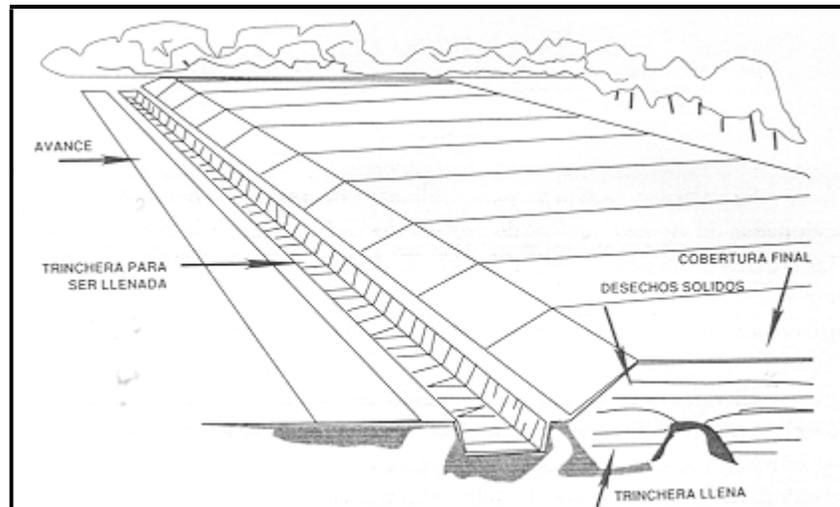


Fuente. Biblioteca virtual Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.

Se acude a este método en condiciones de áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando así el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, debe ser extraído de la capa superficial del mismo.

Combinación de ambos métodos:

Figura 3. Combinación de métodos de área y trinchera para la construcción de rellenos sanitarios



Fuente. Biblioteca virtual Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.

Es necesario mencionar que dado que estos dos métodos de construcción de un Relleno Sanitario tienen técnicas similares de operación, pueden combinarse lográndose un mejor aprovechamiento del terreno, material de cobertura y rendimientos en la operación.

2.2.3 Material de Cobertura: Una de las diferencias fundamentales entre un relleno sanitario y un botadero a cielo abierto es la utilización de material de cobertura para separar adecuadamente las basuras del ambiente exterior y compactarlas diariamente.

El cubrimiento diario de los desechos sólidos con tierra es de vital importancia para

el éxito del relleno sanitario, debido a que cumple las siguientes funciones:

- Prevenir la presencia y proliferación de moscas y gallinazos.
- Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- Evitar incendios y presencia de humos
- Minimizar los malos olores
- Disminuir la entrada del agua de lluvias a la basura
- Orientar los gases hacia las chimeneas para evacuarlos del relleno sanitario.
- Dar una apariencia estética aceptable al relleno sanitario.
- Servir como base para las vías de acceso internas
- Permitir el crecimiento de vegetación

2.3 REACCIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN EL CUERPO DEL RELLENO

Los desechos depositados en el relleno están sujetos a una degradación orgánica dependiendo del tiempo que lleven almacenados; este es un proceso de cuatro fases: oxidación, fermentación agria aeróbica, fermentación anaeróbica desequilibrada con producción de metano y fermentación anaeróbica equilibrada con producción de metano.

Cuando se consume el oxígeno contenido en los desechos comienza la primera fase, y el proceso de putrefacción empieza cuando se cubren los desechos con otros desechos y tierra. En este momento se separan los compuestos orgánicos (grasa, proteínas, celulosa) en compuestos fundamentales (aminoácidos, lípidos, azúcares); luego estos compuestos fundamentales sufren otro cambio, se transforman en H_2 , CO_2 , acetato y lípidos; a este fenómeno se le llama

fermentación ácida ya que aumenta la concentración de lípidos. Cuando los desechos tienen contacto con el aire en esta fase se eleva considerablemente la concentración de olores ofensivos.

Los productos transitorios de la segunda fase se transforman en CH_4 , CO_2 Y H_2O . Estos gases son productos definitivos de la descomposición orgánica, y serán producidos durante un largo tiempo que puede llegar a ser de 25 a 40 años dependiendo de las condiciones particulares de cada relleno.

2.4 GENERACIÓN DE LOS LIXIVIADOS

Se llaman lixiviados a los líquidos que se generan debido a la degradación de la materia orgánica y los líquidos que se originan de la infiltración de agua en el relleno, en ausencia de controles estos pueden llegar a ser altamente contaminantes y nocivos para el medio ambiente.

El volumen de lixiviados producidos en los rellenos sanitarios depende básicamente de los siguientes factores: la precipitación, el área del relleno, el modo de operación (manual, compactado con maquinaria, con sistema de compactación). La generación de lixiviados puede ser muy amplia en rellenos manuales sujetos a precipitaciones elevadas, ya que se hace demasiado difícil tratar una alta cantidad de agua generada. Para tratar de mitigar este efecto se utiliza una serie de medidas que ayudan a minimizar la generación de lixiviados en los rellenos manuales.

- No construir el relleno en áreas totalmente planas o en trincheras; hacerlo en terrazas o sobre un terreno inclinado ligeramente para que parte del agua lluvia pueda ser evacuada sin percolar al cuerpo de los residuos sólidos.

- Sembrar plantas con alta capacidad de absorción para ayudar a secar el terreno.
- Construir sistemas de drenaje de aguas lluvia alrededor de las celdas para evitar que se filtre al cuerpo de la basura.

En los rellenos compactados con maquinaria se puede ayudar a mitigar la generación de lixiviados de las siguientes formas:

- Utilizar máquina compactadora pesada
- Colocar la basura en capas delgadas, no mas de 30 cm. de espesor.
- Construir una capa de basura de 2 m de espesor en el fondo del cuerpo de basura, esta sirve como filtro de los lixiviados de la parte superior.

2.4.1 Tecnologías Para El Tratamiento De Lixiviados: Las tecnologías existentes para el manejo de lixiviados son diversas, su implementación depende en gran parte de la capacidad económica que se tenga, de la cantidad de los lixiviados y del área disponible. A continuación se exponen dos de los métodos más comunes.

Degradación Anaeróbica

Consiste en la degradación de la materia orgánica debido a la actuación de bacterias que aceleran el proceso de descomposición, la particularidad es que la totalidad del proceso se lleva a cabo en ausencia de oxígeno.

Es ideal para aguas altamente contaminadas; no se necesita ventilación y existe la

gran posibilidad de utilizar el biogás generado en el relleno durante el proceso de degradación anaeróbica. Con esta técnica se puede reducir de forma considerable la concentración de los contaminantes. En los rellenos sanitarios el proceso de degradación anaeróbica se puede implantar en la fase de fermentación agria ya que en ese momento los lixiviados tienen contenidos demasiado altos de contaminantes; si se hace durante la producción de metano, la degradación anaeróbica no tiene efecto.

Piscinas Aireadas (método de lodo activado)

En este tipo de tratamiento los compuestos orgánicos del carbón se transforman en CO_2 y H_2O bajo la influencia del oxígeno que es inyectado en los líquidos mediante la utilización de sistemas surtidores que los envían al medio de manera espontánea y allí se integra el oxígeno con los compuestos; este proceso se puede llevar a cabo tanto en la fase de fermentación agria como durante la fermentación con producción de metano.

Se deben tener en cuenta los siguientes criterios, conociendo la naturaleza de los lixiviados:

- En lugares muy fríos la eficiencia de este proceso es muy baja y la nitrificación utilizada para controlar el alto contenido del nitrógeno se hace ineficiente; la piscina presenta problemas a temperaturas inferiores a 10 C.
- El material de construcción de las piscinas debe ser hormigón armado ya que los lixiviados son bastante agresivos por su contenido de sulfato y amoníaco.
- La materia sólida suspendida y el alto contenido de lodo impiden la circulación del agua en la piscina aireada.
- La generación de espuma se puede evitar con dispersión superficial de

agua o con químicos controladores de espuma.

2.5 CONTROL E INSPECCIÓN EN LOS RELLENOS SANITARIOS

Remitiéndose a las normas técnicas se debe contar con las siguientes instalaciones de control y revisar su funcionamiento periódicamente:

- Sistema de monitoreo de aguas subterráneas por lo menos con un punto de medición en la entrada del agua subterránea y varios puntos de medición de la corriente de agua que sale del relleno sanitario.
- Dispositivos de medición para el monitoreo de asentamientos y deformaciones del relleno sanitario.
- Dispositivos de medición para el monitoreo de datos meteorológicos (pluviómetro, anemómetro, termómetro, vaporímetro).
- Dispositivos de medición para el registro de datos de caudales de lixiviados y aguas superficiales.
- Dispositivos de medición para biogás.

El operador del relleno sanitario debe realizar las anotaciones de todos los datos importantes del funcionamiento de este.

2.6 VENTAJAS DE LOS RELLENOS SANITARIOS

- Es sin lugar a dudas una de las alternativas más convenientes para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en nuestro país, ya que se tiene primordial cuidado con el medio ambiente (drenaje y tratamiento de lixiviados, evacuación de biogás por chimeneas, cubrimiento de los desechos).
- La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los otros métodos de tratamiento: incineración o compostación. Con un manejo adecuado del terreno (construcción planificada y compactación de la basura) se extiende la vida útil del relleno, permitiendo un uso más prolongado.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- La recuperación del biogás realizada de manera técnica puede dar pie para la ejecución de proyectos de aprovechamiento energético de éste.
- Recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc.
- Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

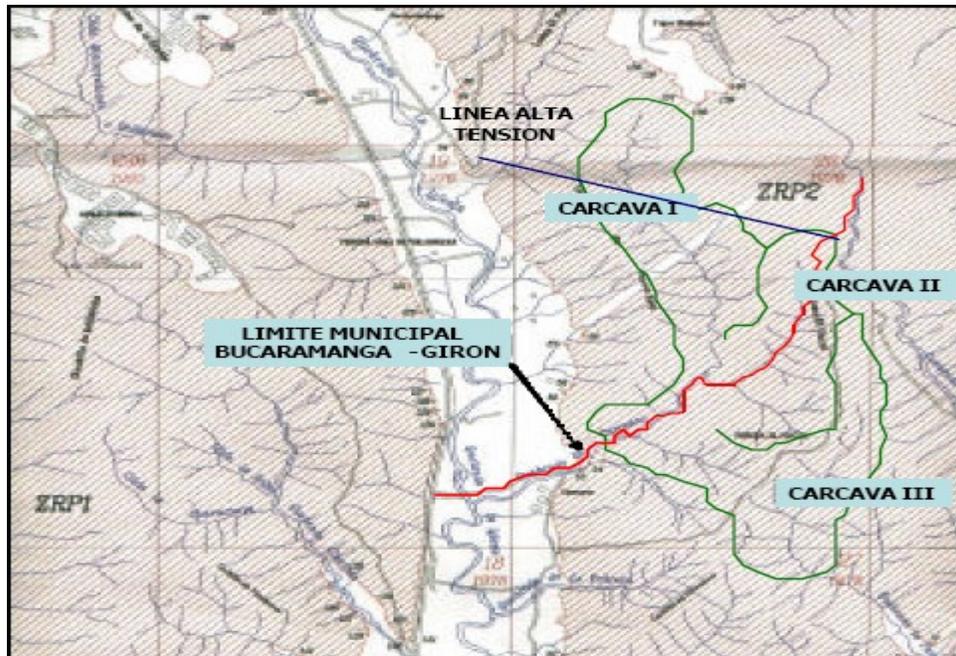
2.7 DESVENTAJAS DE LOS RELLENOS SANITARIOS

La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que pueda ocasionar la comunidad por factores como:

- La falta de conocimiento sobre la implementación y operación de un relleno sanitario y los beneficios que consigo traiga para la comunidad.
- Asociar el término "relleno sanitario" al de "botadero de basuras a cielo abierto".
- La desconfianza que se derive de la comunidad hacia la administración existente, entorpeciendo las gestiones para el desarrollo del proceso.
- El rápido crecimiento urbano que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.
- La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones.
- Existe un alto riesgo de transformarlo en botadero a cielo abierto por razones políticas de la administración o por el entorpecimiento del proyecto por agentes externos, como la comunidad.
- Se puede presentar la contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.
- Generación de olores ofensivos para el entorno, debido a los procesos de biodegradación de la materia orgánica.

3. EL CASO DEL RELLENO SANITARIO EL CARRASCO EN BUCARAMANGA SANTANDER

Figura 4. Zonas que componen el Carrasco con sus límites



Fuente: Informe Empresa de Aseo de Bucaramanga EMAB S.A. E.S.P.

El relleno sanitario El Carrasco de la ciudad de Bucaramanga Santander, al igual que en varias ciudades, comenzó como un simple botadero de basuras que con el tiempo empezó a convertirse en un problema potencial de contaminación, hoy día se vive una situación un poco tensa por su inminente cierre y por la necesidad de extraer el biogás que se producido, se trabaja arduamente en la búsqueda de opciones que permitan utilizar el biogás, pero además se buscan opciones que aprovechen en mayor parte las características energéticas de dicho gas y por supuesto que otorguen una entrada económica para la financiación del proyecto y por que no para generar ganancias económicas.

3.1 HISTORIA DEL CARRASCO

Debido a una decisión de naturaleza técnica producto de un convenio entre la EMAB, el municipio y una empresa canadiense, en 1977 se eligió el lugar donde debía llevar acabo la disposición de los residuos sólidos de la región. La zona fue declarada apta por el técnico canadiense experto en rellenos sanitarios George Rivoche, quien después de efectuar el estudio así lo determinó.

En el año de 1978 se empezó a utilizar el Carrasco como un botadero de basuras a cielo abierto, en el lugar conocido hoy como la Cárcava II.

En el año de 1985 se empezaron a presentar problemas de incendios, razón por la cual se decidió comenzar a llenar una de las cañadas de la zona norte, hoy conocida como Cárcava I. A partir de este momento se empezó a operar con muy poco control sobre la disposición, generando vertimientos líquidos y emanaciones de gases.

Los residuos sólidos se dejaban caer cuesta abajo en la cárcava I, para así ir formado terrazas de basura, trayendo como consecuencia el aumento de moscas, aves de carroña, cucarachas y ratas. A medida que las terrazas de basura fueron creciendo, se aprovechó para construir chimeneas en gaviones interconectados por filtros, permitiendo el manejo del biogás generado y los lixiviados. Estas chimeneas evacuan los gases hacia la superficie y permiten la salida de los lixiviados llevados por gravedad al canal principal, luego de pasar por los filtros interceptores.

3.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS ZONAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS EN EL CARRASCO

Para mejorar y optimizar la distribución y manejo del espacio en El relleno sanitario El Carrasco, se ha dividido este en tres zonas (cárcavas), las cuales se describen a continuación.

3.2.1 Cárcava I: Está compuesta por la zona dos que es el lugar donde actualmente se dispone y opera, y la zona uno que ya está clausurada.

El volumen de disponibilidad de esta zona es de 667 mil metros, para disponer residuos en forma escalonada (formando terrazas de basuras y material de cobertura, separadas por bernas). Esta cárcava está ubicada totalmente en jurisdicción del municipio de Bucaramanga.

3.2.2 Cárcava II: Este fue el lugar utilizado para la disposición de residuos a cielo abierto desde el año 1977 hasta 1985, en ese tiempo era conocido como el botadero de malpaso. En esta zona se dispuso más de 500 mil toneladas de desechos provenientes de Bucaramanga y su área metropolitana. Esta cárcava se encuentra ubicada en jurisdicción de Bucaramanga y Girón.

3.2.3 Cárcava III: Está comprendida por un área aproximada de 12 Hectáreas localizada al sur-occidente del terreno, con una diferencia de nivel entre la cota máxima y el fondo de 60 metros. En este momento este lugar se encuentra cubierto de vegetación natural, ya que allí no se ha realizado intervención alguna. Esta cárcava se encuentra ubicada por completo en jurisdicción de Girón.

3.3 LOCALIZACIÓN

El relleno sanitario El Carrasco, se encuentra ubicado en el sector sur occidental de la ciudad de Bucaramanga, limitado por el barrio El Porvenir hacia el oriente. Se accede a la zona por el sector izquierdo de la carretera que conduce de Bucaramanga a Girón; al tomar la vía a la zona oriental de Cenfer, el recorrido en automóvil desde Bucaramanga demora aproximadamente quince minutos.

3.3.1 Descripción del entorno: El relleno sanitario el carrasco consta de dos áreas de disposición de residuos, donde se han venido disponiendo desde el año de 1977, en aquel entonces solo se disponían a cielo abierto y con un tratamiento técnico muy deficiente; con el paso del tiempo se fue mejorando en la implementación de técnicas e instrumentos para la disposición.

Actualmente en una de las áreas de disposición conocida como cárcava I, se adaptó un sector en el que se lleva a cabo la recepción de los residuos, pues la otra área llamada cárcava II que cuenta con dos sectores de disposición se encuentra clausurada y es allí donde se centran los esfuerzos para realizar la extracción de biogás para un posible aprovechamiento energético de alto valor social y por que no comercial (los esfuerzos se centran en la cárcava dos debido a su cierre reciente y a que cuenta con mayores características técnicas de construcción, la cárcava uno no se tiene en cuenta porque esta cerrada desde 1985 y allí no se dan los potenciales de recuperación de biogás esperados para el proyecto pues son muy bajos por el hecho que lleva vario tiempo venteando los gases a la atmósfera, hoy día tiene 32 pozos de venteo pasivos).

Aunque en realidad el entorno del relleno el carrasco es una mezcla entre lo rudimentario y lo tecnológico tanto para la disposición de los residuos como para

la captación del gas, pero esto no quiere decir que no se pueda trabajar, por el contrario es un campo muy interesante para la implementación de programas, proyectos y tecnología para el máximo aprovechamiento energético sostenible del relleno y sus productos.

3.4 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

La zona de influencia del relleno tiene las características de un sector árido, viéndose escarpes abruptos, cárcavas de erosión y corrientes superficiales escasas.

Se observa en la zona sur la presencia de estoraques y grandes cárcavas como resultado del fuerte efecto erosivo del sector. El área de El Carrasco es una depresión dentro de los depósitos aluviales de la terraza de Bucaramanga.

En algunas partes se pueden observar mesetas con escarpes verticales que se presenta como un depósito de estructura fina. Se presenta con manchas claras, evidenciando un antiguo suelo en condiciones cálidas y estaciones húmedas marcadas.

3.5 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

La información para el análisis del clima en la zona es tomado de las estaciones Llano Grande de Girón y la UIS, los datos de precipitación en la zona fueron proporcionados por el IDEAM, basados en mediciones hechas en la estación Llano Grande ubicada en Girón.

Los registros de la estación Llano Grande presentan precipitación media multianual de 958 mm, con valores máximos promedios multimensuales 246.7 mm

y valores mínimos promedios multimensuales de 0.4 mm, la distribución mensual de la precipitación muestra periodos de mayores lluvias en Marzo, Abril, Mayo, Octubre y Diciembre; periodos secos en Enero, Febrero y Diciembre.

La temperatura media mensual para las tres últimas décadas es de 25.06C; valores obtenidos en la estación Llano Grande ubicada a 777 m.s.n.m. Según el IDEAM el gradiente de temperatura es de 0.63C cada 100 m para el flanco occidental de la cordillera oriental.

La humedad relativa media multianual de la zona es del 79%, con valores máximos promedios multimensuales del 94% y mínimos del 66%.

Según la estación de Llano Grande, el lugar se caracteriza por tener valores totales multimensuales de brillo solar que van desde 91.7 horas en Junio hasta 190.8 horas en Enero.

La velocidad del viento en el área de la meseta de Bucaramanga generalmente presenta valores por debajo de 1.3 m/s antes de las 7:00 a.m., y alcanza sus valores más altos a la 1:00 p.m. con valor de 3.6 m/s. Estos datos han sido obtenidos de la estación UIS.

En Marzo, Junio, Noviembre y Diciembre, la velocidad media mensual es mínima con valores de 1.9 m/s, mientras que en Abril y Septiembre se presentan los valores más altos con valores de 2.1 m/s.

La Rosa de Vientos para la Estación UIS, muestra la dominancia de vientos del Norte, Sur y Noreste con valores respectivamente de 44.4%, 16.8% y 10.6%.

3.6 COMPORTAMIENTO DE LOS OLORES OFENSIVOS EN EL ENTORNO

3.6.1 Estudio Organoléptico: La empresa municipal de aseo de Bucaramanga viene realizando una serie de actividades para tratar de minimizar de la mejor forma los efectos de los olores provenientes del Relleno Sanitario; entre estas actividades se encuentra el mantenimiento y resiembra de barreras ecológicas y la fumigación periódica de los barrios vecinos.

En los residuos sólidos se han identificado diferentes tipos de olores, provenientes de una gran variedad de compuestos aromáticos (mercaptanos) y del ácido sulfhídrico, que son arrastrados por el biogás generado en el proceso de digestión anaerobia de los residuos. También se encuentran los molestos olores generados por los lixiviados; estos contienen mercaptanos y sustancias como el indol y el eskatol. En los sistemas de tratamiento facultativo se emite fácilmente ácido sulfhídrico ya que existe la presencia de organismos capaces de producirlo a partir de los sulfatos presentes en el lixiviado.

Por otra parte se debe adicionar el olor producido de forma natural por los residuos sólidos, el cual se acelera por la descomposición anaerobia de los residuos desde el lugar de recolección hasta el sitio de disposición final, influyendo así en el decremento de la calidad de vida de las personas.

3.7 DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

Para la realización del diseño del relleno sanitario El Carrasco se tuvo en cuenta un grupo de variables determinantes del lugar, como la caracterización de los suelos y los aspectos climatológicos, los cuales dieron un acercamiento a las pautas preliminares para el diseño del relleno que hoy conocemos.

3.7.1 Información Geológica: De acuerdo a las investigaciones sobre la información geológica disponible para la determinación de las características particulares del perfil geológico de la meseta de Bucaramanga, y en particular del sitio en el cual actualmente se dispone el relleno sanitario El Carrasco, tenemos que los suelos están conformados con capas que presentan estados de alta densidad, es decir muy compactos, y en consecuencia, no se encuentran capas con estados de consistencia blanda en dichos suelos.

En el área de estudio se pueden identificar determinadas clases de capas, desde las llamadas “manto I” en la superficie, llegando a las correspondientes al “manto A”, las capas que conforman estos mantos unidas presentan un espesor aproximado de 90 metros; cabe resaltar que bajo dichas capas existe la posibilidad de encontrar un yacimiento acuífero, pues los suelos presentan características de impermeabilidad importantes.

Características de los Suelos:

En los sondeos realizados fue posible detectar que los suelos en su mayoría se encuentran conformados de arena, arcilla y limo; estos presentan contenidos de granos finos que pueden oscilar desde 40% hasta 60% aproximadamente, además presentan plasticidad media y características áridas, es decir índices de humedad bajos; los suelos fueron clasificados como arenas limosas y arenas arcillosas.

Como fue mencionado anteriormente los suelos se encuentran en estado de consistencia muy compacto; a continuación en la tabla se resumen los valores de penetración obtenidos experimentalmente en cada uno de los sondeos realizados.

Ensayos de Permeabilidad:

La permeabilidad es una característica del suelo que obedece a una variación de diversos factores como son : las fuerzas de superficie, la porosidad, la temperatura del fluido y suelo, la viscosidad del fluido en movimiento, la estructuración del suelo y la humedad del suelo entre otros, dichos factores no solo dependen de la estructura de este; con la determinación de estos factores se pueden conocer importantes características de los suelos y clasificarlos de acuerdo a su composición y comportamiento con otros agentes como el agua.

Actualmente existen varios procedimientos para la determinación de la permeabilidad de los suelos, estos los podemos dividir básicamente en dos grupos: en “directos” e “indirectos”, los directos se basan especialmente en pruebas cuyo objetivo fundamental es la medición del coeficiente de permeabilidad; mientras los indirectos proporcionan el valor del coeficiente de permeabilidad en forma secundaria, es decir, por medio de pruebas diseñadas para otros fines. Para nuestra medición de permeabilidad recurrimos a métodos directos.

3.7.2 Capacidad del relleno sanitario: La vida útil del sector actual donde se están disponiendo los residuos sólidos en el relleno, esta calculada hasta el mes de septiembre del año 2006. El volumen disponible es 1.655.843,06 m³ de los cuales el volumen para residuos sólidos es 1.379.869,22 m³ y 275.973,84 m³ es el volumen para material de cobertura.

Actualmente se encuentran dispuestas en el relleno sanitario 3'555.552 toneladas de residuos sólidos contabilizadas desde su inicio de operaciones en el año de 1985; diariamente ingresan 820 toneladas. La capacidad total de disposición del relleno es 3'985.000 toneladas.

En el relleno sanitario el grado de compactación de los residuos sólidos es de 700 Kg./m³.

3.8 DISPOSICION HISTÓRICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Desde su creación hasta hoy, La Empresa Municipal de Aseo de Bucaramanga (EMAB S.A. ESP.) ha venido siendo la empresa encargada de la recolección y disposición final de los residuos sólidos urbanos, no solo de la ciudad de Bucaramanga, sino también de algunas poblaciones aledañas como lo son: Girón, Floridablanca, Lebrija, Rionegro, El Playón, Charta, Cáchira, Suratá y Piedecuesta; llegando los residuos de estas poblaciones al relleno sanitario El Carrasco.

Cabe mencionar que en sus comienzos, El Carrasco era considerado simplemente un botadero de basura, ya que no contaba con los requisitos de diseño mínimos para ser un relleno sanitario. Así los residuos se depositaban en el sin ningún control; ahora llegan al lugar de disposición final, que son celdas de trabajo de 40 metros largo por 30 metros de ancho, en el cual son esparcidos por los vehículos recolectores y luego compactados por un buldózer hasta formar una capa de 1 metro. Después de la compactación se realiza el proceso de cobertura con una capa de material de 0.25 metros sobre los residuos.

3.8.1 Registro Histórico de Residuos Recibidos en el Relleno Sanitario El Carrasco: A continuación se encuentra tabulado el registro histórico de recepción de desechos sólidos en el Carrasco; En esta tabla se muestran los datos estimados de los primeros 11 años de funcionamiento del sitio de disposición final ya que no se cuenta con los datos reales, por que para la época no se realizaba ningún tipo de control del ingreso de las basuras. Se muestran los datos reales

hasta el año 2003, y luego se realiza una proyección hasta el 2006, año en el cual se cerrará el relleno sanitario.

Tabla 1. Registro histórico de recepción de residuos en el Carrasco

AÑO	DISPOSICIÓN TOTAL ANUAL (Toneladas)	DISPOSICIÓN TOTAL ACUMULADA (Toneladas)	TIPO DE DATO
1985	109.819	109.819	Estimado
1986	115.064	224.883	Estimado
1987	120.558	345.441	Estimado
1988	126.315	471.756	Estimado
1989	132.347	604.103	Estimado
1990	138.667	742.770	Estimado
1991	145.289	888.059	Estimado
1992	152.227	1.040.286	Estimado
1993	159.496	1.199.782	Estimado
1994	167.112	1.366.894	Estimado
1995	175.092	1.541.986	Estimado
1996	183.453	1.725.439	Estimado
1997	192.214	1.917.653	Real
1998	201.392	2.119.045	Real
1999	201.392	2.320.437	Real
2000	202.854	2.523.291	Real
2001	202.158	2.725.449	Real
2002	227.171	2.952.620	Real
2003	240.171	3.192.791	Real
2004	252.679	3.445.470	Proyectado
2005	264.196	3.709.666	Proyectado
2006	276.234	3.985.900	Proyectado

Fuente Empresa municipal de Aseo de Bucaramanga EMAB S.A. E.S.P.

3.9 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Los residuos sólidos en su totalidad se identifican, reconocen y clasifican, de acuerdo a su composición física y química; como es natural esta composición es diferente para cada tipo de residuo, pues varía en relación a su fuente de producción; Luego de analizar su composición, los residuos se pueden clasificar de acuerdo a su peligrosidad y determinar donde y como serán dispuestos.

En los rellenos sanitarios, solo deben ser dispuestos los residuos que se clasifiquen como no peligrosos entre los que se encuentran los comerciales, industriales y domésticos.

En las siguientes tablas podemos apreciar la composición física y la composición química respectivamente, de los desechos que se generan en el área metropolitana de Bucaramanga y que son dispuestos finalmente en el relleno sanitario El Carrasco.

3.9.1 Composición Física Consolidada De Los Residuos Sólidos: La densidad aproximada de estos residuos sólidos sueltos, es aproximadamente 300 Kg./m³, alcanzado después de compactados densidades entre 0.7 Ton/m³ y 0.8 Ton/m³.

Tabla 2. Composición de los residuos orgánicos que ingresan al Carrasco

RESIDUOS ORGANICOS	
COMPONENTE	PORCENTAJE
Comida	50,3
Papel y Cartón	0,2
Madera	7,8
Cenizas de Carbón	2,5
Pañales y toallas higiénicas	2,9
PORCENTAJE TOTAL	63,7

Fuente: Diagnostico Ambiental de Alternativas FONADE – AMB 2002

Tabla 3. Composición de los residuos reciclables y de construcción que ingresan al Carrasco

RESIDUOS RECICLABLES	
COMPONENTE	PORCENTAJE
Botellas plásticas	2,3
Láminas plásticas	3,9
Otros plásticos	0,5
Papel y cartón	4,1
Textiles	2,1
Vidrio	1,3
Zapatos	1,5
Latas	0,7
Trozos de metal	0,3
Aluminio	0,1
PORCENTAJE TOTAL	16,8
RESIDUOS DE CONSTRUCCION	
COMPONENTE	PORCENTAJE
Desechos de construcción	4,3
PORCENTAJE TOTAL	4,3

Fuente: Diagnostico Ambiental de Alternativas FONADE – AMB 2002

Tabla 4. Composición de otros residuos y residuos biológicos que ingresan al Carrasco

OTROS RESIDUOS	
COMPONENTE	PORCENTAJE
Llantas	1,4
Baterías, teléfonos, etc.	0,1
Plásticos no reciclables	0,9
Papel higiénico	3,1
Textiles no reciclables	3,6
Cuero	4,2
Otros plásticos	0,1
Otros	1,5
PORCENTAJE TOTAL	14,9
RESIDUOS BIOLÓGICOS	
COMPONENTE	PORCENTAJE
Desechos hospitalarios	0,2
Desechos biológicos	0,1
PORCENTAJE TOTAL	0,3

Fuente: Diagnostico Ambiental de Alternativas FONADE – AMB 2002

La composición física de los residuos sólidos del relleno sanitario toma demasiada importancia, ya que con la información mostrada en la tabla anterior pudimos apreciar que aproximadamente un 50.3 % de la totalidad de la composición física son residuos de comida, los cuales después de un procesos de descomposición producen el biogás, el cual es el centro de atención para la realización de este proyecto. El problema que se presenta es que los residuos no vienen separados por tipo, sino que están todos mezclados.

3.9.2 Composición Química De Los Residuos Sólidos: La composición química de los residuos sólidos tiene un gran valor para este proyecto ya que esta nos puede ayudar a predecir la velocidad de descomposición de las basuras, el

poder calorífico del biogás generado, la calidad y tasa de generación de este, entre otras.

Tabla 5. Composición química de los residuos

PARAMETRO	RANGO DE OSCILACION	
	Mínimo	Máximo
Humedad	63,30	78,80
Nitrógeno total	1,10	2,00
Cenizas	9,00	29,10
Carbono	39,40	50,60
Relación C/N	22,70	46,00
Fósforo	0,45	3,00
Potasio	1,20	2,00
pH suspensión 1:2	5,40	6,00
Capacidad calorífica	3011,00	3924,00

Fuente Empresa Municipal de Aseo de Bucaramanga EMAB S.A. E.S.P.

Generalmente el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se encuentra entre 6.8 y 7.2, siendo el rango tolerable entre 6 y 8; cuando el pH es superior a 9 o inferior a 4.5 se detiene la metanización. La producción óptima de metano se efectúa cuando el contenido de humedad de los residuos oscila entre 60% y 80%; con valores superiores al 80% se provoca que la tasa de descomposición de los residuos sólidos disminuya, acarreando también disminución en la producción de metano.

4. EL BIOGÁS Y SU VIABILIDAD DE UTILIZACIÓN COMO FUENTE DE ENERGÍA

4.1 EL BIOGÁS

El biogás es una mezcla de gases producido por bacterias metanogénicas al descomponer material biodegradable de forma anaerobia. Sus componentes principales son dos; Metano (CH_4) 50-70% y Dióxido de Carbono (CO_2), contiene también otros gases en menor proporción (Hidrógeno, Nitrógeno, ácido Sulfhídrico, monóxido de Carbono, vapor de agua, Oxígeno), y elementos traza (benceno, cloruro de vinilo, tolueno, cloruro de metileno, butano, propano, acetona, isoxilenos, etc.) aproximadamente el 1%.

Los componentes principales entregan las características mas importantes de este combustible (poder calorífico, relación aire combustible, temperatura de combustión etc.). Los componentes traza generalmente son impurezas que se encuentran del orden de ppm; En la mayoría de los casos se busca la eliminación de los elementos traza ya que son perjudiciales para la utilización del biogás.

El biogás es un combustible que puede utilizarse directamente en procesos de combustión para generar calor, en generadores de vapor para la generación de energía eléctrica, puede ser comprimido en cilindros para uso doméstico, también puede usarse como combustible para automóviles; en fin es un combustible que nos muestra una alta gama de aplicaciones y usos.

4.1.1 Propiedades de los componentes del Biogás: En la siguiente tabla se muestran las propiedades de los componentes más importantes del biogás obtenido de rellenos sanitarios; el valor de la ultima columna (biogás CH₄ = 65%) puede variar para cada relleno dependiendo de el clima y la composición de los residuos sólidos del relleno entre otras variables.

Tabla 6. Propiedades de los componentes del biogás

PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL BIOGÁS					
PROPIEDAD	UNIDAD	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	BIOGÁS CH ₄ = 65%
Poder Calorífico superior (seco)	Kwh./m ³	11,1	no	no	7,2
Poder Calorífico inferior (húmedo)	Kwh./m ³	10	no	6,3	6,5
Límite de explosión en función del porcentaje del aire	%	(5-15)	no	(4-45)	(5-12)
Temperatura de ignición	°C	700	no	270	(600-750)
Presión crítica (antes de ignición)	bar.	47	75	90	(75-89)
Densidad	Kg./m ³	0,72	1,98	1,54	1,2

Fuente: Publicación Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (México D.F.)

Para el caso del relleno sanitario El Carrasco, la composición del biogás cambia un poco respecto de la composición típica mostrada en el anterior cuadro, ya que su contenido de metano (CH₄) es menor, aproximadamente del 53.2%, el CO₂ aporta un 36.3% y el Oxígeno 1.4%. Al bajar el contenido de metano, el poder calorífico desciende aproximadamente hasta 5.9 Kwh./m³; sin embargo es un valor interesante para el desarrollo del proyecto utilizando el biogás como combustible.

4.2 APLICACIONES

El biogás presenta una amplia variedad de aplicaciones, a continuación se describirán algunas de ellas y luego se profundizará en la que a nuestro juicio es la más apropiada para el desarrollo de este estudio.

4.2.1 Utilización directa del biogás in situ: Esta alternativa muestra una posibilidad de utilización del biogás en el lugar donde se extrae, en este caso el relleno sanitario. Lo que se hace con mayor frecuencia es transportar el biogás por tuberías a consumidores cercanos; estudios previos¹ muestran que esta técnica se hace ineficiente económicamente cuando las distancias superan los cuatro kilómetros.

Para el desarrollo de esta técnica hay que tener en cuenta ciertos parámetros que pueden determinar la viabilidad o no de un proyecto similar; hay que tener en cuenta las leyes existentes que condicionan las características del biogás que será vendido a la red de gas natural (Resolución 1 de 1999: Reglamento Único de Transporte (RUT) en Colombia); se debe tener en cuenta cuales son las necesidades de gas de los asentamientos urbanos cercanos y por supuesto tener muy claro en que magnitud se pueden suplir dichas necesidades; por otra parte en caso de tener un parque industrial cercano al cual se le pueda llevar el biogás, hay que determinar si se pueden satisfacer las necesidades térmicas de los equipos que actúan en el proceso, teniendo en cuenta que el poder calorífico del biogás es aproximadamente la mitad que el del gas natural; además hay que realizar un estudio económico en el que se pueda definir la relación costo-beneficio que relacione la inversión de la infraestructura requerida y los ingresos por la venta del

¹ *Taller Internacional para la Promoción de Proyectos MDL mediante el Aprovechamiento del Biogás en Rellenos Sanitarios. Bogotá noviembre 22 de 2004.*

gas; lo anterior sin mencionar el endulzamiento del biogás para retirar el azufre que contiene, a fin de aumentar la vida útil de las redes de suministro y de los equipos.

En lugares en los que se cumplen dichos requerimientos es viable la utilización directa como el caso del relleno sanitario Pozo la Feria en Santiago de Chile, en el se comenzó a enviar el biogás generado a la fabrica de GASCO en el año de 1982 para su utilización tanto en procesos térmicos como para el suministro de gas domiciliario.

En el caso particular del relleno sanitario El Carrasco, se tienen industrias cercanas al lugar en las cuales se realizan procesos térmicos, también se encuentran asentamientos urbanos en un radio menor a un kilómetro; pero existe un factor bastante determinante que deja la posibilidad de la utilización directa de lado, y es que tras un reconocimiento del entorno se logró corroborar que las industrias cercanas al igual que los asentamientos urbanos, cuentan con redes que les suministran el servicio de gas natural.

Una de las aplicaciones más utilizadas in situ es la evaporación de lixiviados, este método físico de tratamiento de lixiviados es bien interesante, en el cual como en todos los métodos existentes referentes al tratamiento de lixiviados se pueden incorporar partes de los demás para lograr una mayor eficacia y eficiencia en el proceso, esta técnica se ve con una muy buena aceptación en España donde se ha implementado en rellenos sanitarios y en plantas de tratamiento de aguas residuales.

La técnica es sencilla y consiste en exponer los lixiviados al contacto directo con corrientes de aire caliente el cual evapora y extrae rápida y eficazmente el agua contenida, el sistema consiste en una cámara donde se lleva a cabo el proceso de evaporación, el la que se inyectan los lixiviados por medio de un sistema de aspersores para lograr una mayor área de contacto entre el líquido y el aire, de tal manera que se pueda evaporar el agua rápidamente, así se logra acelerar el proceso de evaporación sustancialmente y se pueden tratar niveles considerables de lixiviados, que se convierten en lodos húmedos y son dispuestos para otros fines (abonos, o disposición controlada de acuerdo a su composición).

Esta alternativa se ve con gran expectativa para ser aplicada en el relleno sanitario El Carrasco, pues de acuerdo a los niveles que se presentan diariamente de estos líquidos, a los reducidos espacios (piscinas de lixiviados) que no cubren la demanda y que por ende hay que tirar al medio ambiente una cantidad significativa de dicho líquido sin ningún tratamiento, surge como una verdadera solución al problema que se experimenta a diario, de lograrse implementar se podrían tratar cantidades importantes de lixiviado, reduciendo la contaminación producida por tirarlos sin ningún control, además se reducirían los olores ofensivos que es otra variante que aqueja a la población cercana que ha manifestado su inconformidad por esta situación, y sin mencionar que la técnica se puede implementar aprovechando el biogás que genera el relleno, dándole así un buen uso a este y disminuyendo la contaminación de gases de efecto invernadero producida por la exposición espontánea del metano que contiene el biogás.

4.2.2 Generación de Energía Eléctrica: Es una de las aplicaciones más comunes y llamativas para el uso del biogás generado en los rellenos, pues las experiencias previas se ha dado una llamativa relación costo-beneficio dejando buenos ingresos derivados de la producción y venta de la electricidad a la red de conexión, en países como Estados Unidos, se tiene alrededor de 200 proyectos de

este tipo en operación². La idea de la realización de proyectos de este tipo es poder autoabastecerse en el consumo de energía eléctrica y conectarse a la red de electricidad para vender el excedente de energía, además aprovechar los beneficios que se otorgan por generar energía eléctrica a partir de energías renovables.

Este tipo de proyectos en la mayoría de los casos se encuentran reservados para rellenos sanitarios que producen altos flujos de biogás; el rango de capacidad instalada se encuentra entre 0.5 MW y 50 MW. Los proyectos de este tipo tienen un alto componente social, ya que casi siempre buscan aplicaciones en servicios municipales como el alumbrado público; de esta manera se trata de compensar indirectamente las molestias causadas por el relleno sanitario con su funcionamiento (emanación de olores ofensivos entre otros).

Un caso muy conocido e importante en el campo del aprovechamiento del biogás para la producción de electricidad pues se constituye en el primero a nivel Latinoamericano, es el caso del relleno sanitario de Salinas Victoria en Nuevo León (México), el cual desde el año de 2003 después de realizado un estudio de factibilidad impulsado por SEDESOL, comenzó la operación de una planta con una capacidad nominal de generación de 8 MW, los cuales tienen como finalidad satisfacer de las necesidades eléctricas de la empresa encargada del relleno, y la energía restante será vendida al sistema interconectado de Monterrey; este proyecto en sus comienzos tuvo gran acogida y apoyo por parte de los entes de financiamiento económico, lo que sirvió en gran medida a mostrar bastante atractiva la realización del proyecto como tal.

²Taller Internacional para la Promoción de Proyectos MDL mediante el Aprovechamiento del Biogás en Rellenos Sanitarios. Bogotá noviembre 22 de 2004.

Dentro del desarrollo de este estudio no nos vamos a centrar en la alternativa de la generación eléctrica para venderla al sistema interconectado, pues el Banco Mundial se encarga del estudio de dicha alternativa; de modo que se torna ineficiente realizar dos estudios de la misma alternativa, por esta razón principalmente es que esta alternativa queda fuera de nuestras posibilidades de estudio.

4.2.3 Motores de Combustión Interna: Tal vez es una de las aplicaciones que se le puede dar al biogás más común ya que los costos de inversión son relativamente bajos, la tecnología es muy común y las eficiencias alcanzadas son altas. Para este uso del biogás es necesario retirar de su composición el ácido sulfhídrico (H_2S) y además hay que someterlo a un proceso de secado para retirar los contenidos de agua, ya que de no hacerlo se ocasionan daños en el motor entre ellos problemas de corrosión, desgaste, mala combustión entre otros. En muchos lugares se utiliza el biogás como el combustible de los motores de combustión interna que accionan maquinas de procesos como bombas, molinos de granos, también pequeños generadores eléctricos, en aplicaciones en rellenos sanitarios se pueden implementar para mover las bombas que evacuan los lixiviados hacia las piscinas de oxidación en el relleno.

Un caso aplicado en Colombia referente al uso de biogás en motores de combustión interna, lo encontramos en el municipio de Jamundí (Valle del Cauca), específicamente en la reserva natural Pozo Verde, donde el biogás producido por la descomposición de la materia orgánica es utilizado como combustible de dos motores de combustión interna que acoplados a dos pequeños generadores producen 155Kw de energía que se utiliza para satisfacer las necesidades eléctricas dentro de la misma reserva.

Dentro de los motores de combustión interna se encuentra el biogás como un posible combustible para su funcionamiento; En Colombia y en particular en la ciudad de Bucaramanga, el parque automotor, en mayor cantidad el de servicio público, ha venido acogiendo y materializando la alternativa de cambiar el combustible que utilizan sus vehículos, pasando de gasolina a gas, ya que es un combustible eficiente comparado con su bajo precio. La gran desventaja que tiene el biogás con respecto del gas natural para esta aplicación, es su bajo contenido de metano (CH_4) que se encuentra aproximadamente entre 50 – 70%, por consiguiente la eficiencia del motor bajaría enormemente volviendo el vehículo ineficiente viendo la accidentalidad de los terrenos que conforman el territorio nacional, y en particular el local. Otra desventaja de la implementación del biogás combustible para automotores, es lo novedoso de esta tecnología, pues es muy reciente, en algunos países como Suecia se encuentran casos de automotores con biogás, pero son proyectos de pequeña escala, no hay masificación de la tecnología y la aceptación del combustible en países como el nuestro es todavía baja, por eso resulta demasiado costoso y dispendioso el desarrollar un proyecto de tal envergadura que rompa con estas dificultades y sea aceptado y masificado rápidamente. La necesidad de dar un uso inmediato al biogás producido en el Carrasco hace que esta posibilidad no sea atractiva en el corto plazo.

4.2.4 Cogeneración: La idea de cogenerar se presenta como una interesante alternativa para el aprovechamiento energético del biogás generado en los rellenos sanitarios, ya que además de suplir las necesidades eléctricas del lugar, el vapor se puede utilizar para procesos como el secado de lodos o la evaporación de lixiviados.

En el desarrollo del proceso de cogeneración se utiliza el poder calorífico contenido en el biogás para generar energía térmica y eléctrica. La primera aproximación de esta aplicación permite prever que la electricidad generada

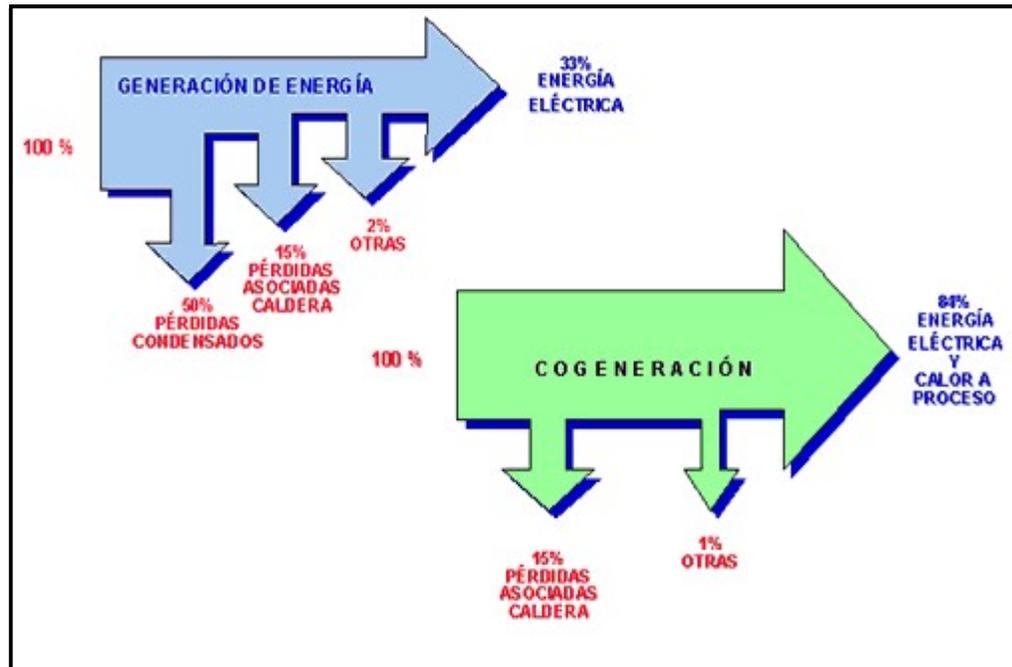
podría abastecer las necesidades propias del relleno e incluir algunos de los usuarios cercanos en tanto que las necesidades térmicas se concentrarían en la evaporación de lixiviados y/o secado de lodos.

Actualmente en el mundo se están buscando e investigando métodos para optimizar los procesos de producción por ende la utilización de los combustibles que tienen que ver en los mismos, podemos encontrar diferentes posiciones en lo que se refiere a uno de los procesos de optimización mas importantes en el medio que es la cogeneración, de la cual hay posiciones variadas pero que en conclusión nos llevan a un mismo sitio; sin duda alguna cuando nos referimos a la cogeneración, coincidimos en afirmar que se define como la producción combinada de energía electromecánica y calor útil a partir de una única fuente de calor, siendo asociada con algunas ventajas importantes como una mayor eficiencia en la utilización de los insumos energéticos y al menor impacto ambiental

La cogeneración es un concepto de producción eficiente de energía. La eficiencia de la cogeneración se basa precisamente en el aprovechamiento del calor residual de un proceso de combustión de la materia prima (combustible) en el proceso de producción de electricidad. Este calor residual se aprovecha para producir energía térmica útil (vapor, agua caliente, aceite térmico, etc), por lo cual el aprovechamiento de el combustible utilizado en el proceso principal puede llevar al 80% de eficiencia, un grado bastante alto si tenemos en cuenta que si solo hubiésemos utilizado el combustible solo en el proceso de generación de electricidad hubiese sido alrededor del 30% que es la eficiencia del proceso.

A continuación se muestra una grafica ilustrativa que relaciona la generación convencional y la cogeneración:

Figura 5. Generación convencional de energía eléctrica vs cogeneración



Fuente: Publicación Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (México D.F.)

Sistemas de cogeneración:

Los sistemas de cogeneración que se pueden identificar son en si los mismos que se utilizan en los procesos y plantas conocidas de generación de energía eléctrica, simplemente la variante que sufren es que la energía térmica producida y que hasta ahora se desechaba o se subutilizaba en un pequeño porcentaje, ahora se utiliza de manera mas eficiente y compleja para buscar el rendimiento máximo del proceso, o para su utilización en otro proceso a fin de disminuir la cantidad de combustible que antes se requerida para realizar los procesos por separado y de tal modo que no se desechen la energía térmica derivada de la combustión.

En lo que respecta a los sistemas de cogeneración podemos identificarlos de la siguiente manera:

Cogeneración con turbina de gas:

La cogeneración con turbina de gas resulta muy adecuada para los procesos en los que se requiere de una gran cantidad de energía térmica, o en relaciones de calor/electricidad mayores a 2.

Cogeneración con turbina de vapor:

Estos sistemas se aplican principalmente en aquellas instalaciones en las que la necesidad de energía térmica respecto a la eléctrica es de 4 a 1 o mayor.

Cogeneración con ciclo combinado:

Este sistema se caracteriza porque emplea una turbina de gas y una turbina de vapor. En este sistema los gases producidos en la combustión de la turbina de gas, se emplean para producir vapor a alta presión mediante una caldera de recuperación, para posteriormente alimentar la turbina de vapor producir por segunda vez energía eléctrica. El ciclo combinado se aplica en procesos donde la razón electricidad/calor es mayor a 6.

Cogeneración con motor alternativo:

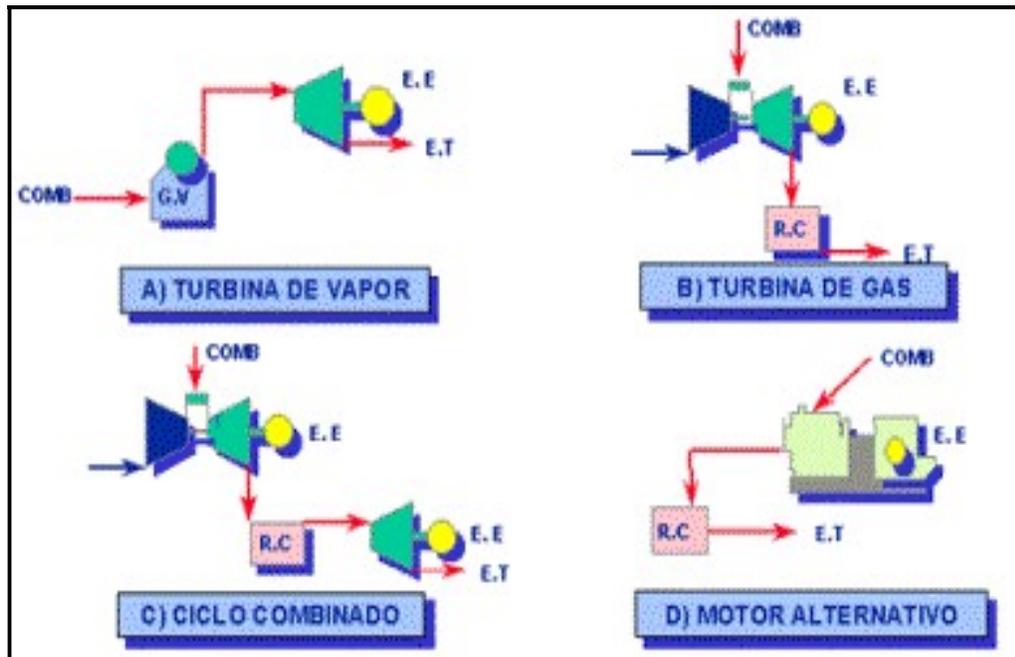
El motor alternativo genera la mayor cantidad de energía eléctrica por unidad de combustible consumido, del 34 al 41%, los gases residuales presentan una temperatura entre 200 y 250 C Sin embargo, en aquellos procesos en los que se puede adaptar, la eficiencia de cogeneración alcanza valores similares a los de las turbinas de gas (85%). Con los gases residuales se puede producir vapor de baja presión (de 10 a 15 kg/cm²) o agua caliente de 80 a 100 C.

Tabla 7. Eficiencias de diferentes sistemas de cogeneración

Tecnología de cogeneración	Eficiencia Eléctrica (%)	Eficiencia Térmica (%)
Turbina de vapor	33	52
Turbina de gas	38	47
Ciclo combinado	57	33
Motor recíprocante (aprovechando calor de gases de combustión y calor del sistema de enfriamiento)	40	30

Fuente: Publicación Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (México D.F.)

Figura 6. Sistemas de cogeneración



Fuente: Publicación Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (México D.F.)

Convenciones:

E.E: energía eléctrica; E.T: energía térmica; G.V: generador de vapor; R.C: recuperador de calor; COMB: combustible

Beneficios de la cogeneración:

La cogeneración es de alta eficiencia, al producir conjuntamente calor y electricidad en el centro de consumo térmico y aporta beneficios como:

1. Disminución de los consumos de energía primaria
2. Disminución de las importaciones de combustible
3. reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
4. Disminución de pérdidas en el sistema eléctrico e inversiones en transporte y distribución.
5. Aumento de la garantía de potencia y calidad del servicio eléctrico.
6. Aumento de la competitividad industrial y de la competencia en el sistema eléctrico.
7. Promoción de pequeñas y medianas empresas de construcción y operación de plantas de cogeneración.
8. Motivación por la investigación y desarrollo de sistemas energéticos eficientes.
9. La cogeneración presenta importantes beneficios ambientales por la utilización de combustibles fósiles de una manera más eficiente lo que conlleva a reducir las emisiones el dióxido de carbono (CO_2) y el dióxido de azufre (SO_2) y aun a la disminución de los óxidos de nitrógeno (NO_x) producidos por una planta de combustión moderna.

Los anteriores son algunos de los beneficios mas marcados que nos podemos encontrar e identificar en la implementación del concepto de cogeneración.

Como vemos actualmente la cogeneración es una forma eficiente de uso racional de los recursos energéticos, es de allí donde se fijan los parámetros para adoptar este concepto para la realización del estudio de prefactibilidad técnica y económica para el aprovechamiento energético del biogás generado en el relleno sanitario El Carrasco, pues de acuerdo a las necesidades que actualmente se experimentan allí, la cogeneración surge como una valiosa y destacada alternativa para satisfacer las mismas.

7.3 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN ACTUAL DE BIOGÁS

7.3.1 Sistema actual de venteo: Actualmente no se tiene un sistema de control y extracción del biogás, ya que se hace de manera rudimentaria; La cárcava I cuenta con chimeneas de venteo que se encuentran ubicadas aproximadamente a 40 metros entre ellas, las chimeneas fueron construidas desde el fondo del relleno hacia arriba con piedras de aproximadamente 15 cm de diámetro. En este sector se cuenta con 32 pozos de venteo pasivo, sobre los que no se tiene ningún tipo de control.

En la cárcava dos el tema de la extracción de biogás se realiza también de forma rudimentaria, hace solo 5 años fue cerrada, además posee 13 quemadores de gas de encendido manual mas modernos y eficientes que las chimeneas de la cárcava I, además el área dos cuenta con tuberías y pozos de extracción el buen estado que se pueden interconectar con sistemas mas completos de recuperación del biogás (mas pozos y mas sistemas de transporte por tubería).

7.3.2 Mediciones De Biogás En Campo: Con las mediciones que se presentan en el siguiente cuadro se ve claramente de la composición de biogás del carrasco en algunos puntos. Este análisis fue hecho por la firma estadounidense de ingeniería SCS en el año 2004.

Tabla 8. Mediciones de biogás en Campo

No de Chimenea	CH4 (%Vol)	CO2 (% Vol)	Oxígeno (% Vol)
PE-2	58,3	40,4	0,4
PE-1	55,6	38	0,9
SP-3	47,8	32,6	2,7
SP-4	46,8	33,2	3
PA-4	57,5	37,1	0

Fuente: Estudio para Banco Mundial SCS Engineers

Los resultados del estudio muestran la buena calidad del biogás del relleno sanitario el carrasco debido a su alto contenido de metano además de tener concentraciones muy reducidas de oxígeno y nitrógeno.

7.3.3 Recuperación Actual Y Potencial De Biogás: Esta proyección fue realizada por SCS teniendo en cuenta muchas variables, entre ellas periodos de degradación de la materia orgánica altos, medios y bajos, obteniendo coeficientes de degradación para cada uno de estos casos después de un amplio trabajo de experimentación en el laboratorio. En la tabla mostrada a continuación se exponen los índices de recuperación de biogás actual y potencial para un factor de degradación medio, en un periodo de tiempo de 14 años.

Tabla 9. Índices de recuperación de biogás

AÑO	ÍNDICES DE RECUPERACIÓN POTENCIAL DE BIOGÁS (m³/hr)	COBERTURA DEL SISTEMA ESTIMADA (%)	ÍNDICE DE RECUPERACIÓN ACTUAL DE BIOGÁS (m³/hr)
2006	2872	75	2154
2007	2937	75	2202,75
2008	2930	80	2344
2009	2352	80	1881,6
2010	1908	80	1526,4
2011	1565	80	1252
2012	1300	80	1040
2013	1095	80	876
2014	935	80	748
2015	811	80	648,8
2016	713	80	570,4
2017	635	80	508
2018	574	80	459,2
2019	525	80	420

Fuente: Estudio para Banco Mundial SCS Engineers

5. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LAS OPCIONES SELECCIONADAS

Para la realización del estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento energético del biogás generado en el relleno sanitario, se han tomado dos alternativas que a la vez de quemar el biogás, también controlan la generación y posterior tratamiento de una parte importante de los lixiviados generados en el relleno, estas son:

- Combustión directa de biogás y evaporación de lixiviados.

Con esta alternativa se utilizaría el biogás para una combustión directa, y los gases derivados de dicha combustión serían disecados a un evaporador, en el cual se trataría una cantidad importante de lixiviados generados.

- Planta de cogeneración con sistema de evaporación de lixiviados.

En esta alternativa el biogás tiene una utilización energética más eficiente, pues sería utilizado para la generación de electricidad, y los gases de escape serían los encargados de realizar la evaporación de los lixiviados.

5.1 ANÁLISIS TÉCNICO

Las dos alternativas propuestas presentan algunas similitudes, como el sistema de evaporación de lixiviados, pues es el mismo para ambas opciones, este cuenta con un sistema de transporte de gases de combustión a un evaporador que tiene la capacidad de evaporar 1.2 litros de lixiviados por segundo, además el sistema de colección del biogás también es el mismo; una diferencia que hay en los dos sistemas, es el sistema de combustión, pues para la combustión directa se propone una estación de quemado con capacidad de 2500 metros cúbicos de

biogás por hora, en tanto que para el sistema de cogeneración se sugiere un sistema de quemadores individuales para aliviar presiones de los pozos o del relleno mismo

A continuación se relacionan los parámetros técnicos más relevantes tanto del sistema de combustión directa de biogás como del sistema de cogeneración, ya que ambos se tornan como los más aceptables para la utilización del biogás y para el tratamiento de los lixiviados generados.

5.1.1 SISTEMA DE COLECCIÓN DE BIOGÁS

Para poder realizar el diseño y construcción de los sistemas de colección del biogás, lo primero que se debe conocer son los datos del lugar, los cuales para este caso ya están descritos.

Según estudios realizados por SCS, se sugiere la instalación de aproximadamente 47 pozos verticales de extracción, con un radio de influencia aproximadamente de 1.25 hasta 2.5 veces su profundidad. Debido a que la profundidad máxima del relleno sanitario El Carrasco es de 35 metros, la profundidad máxima de los pozos deberá estar entre 25 y 30 metros.

Para conectar estos pozos de extracción con la estación de quemado y succión, se necesitarán aproximadamente 3300 metros de tubería incluyendo la tubería lateral (1300 metros) y principal (2000 metros); según SCS la tubería principal debe ser de 350 milímetros de diámetro y la lateral de 110 milímetros de diámetro.

El sistema de colección de biogás debe incluir un método para el control de los condensados ya que este líquido puede causar problemas la normal operación del

sistema de colección y al funcionamiento de los procesos; normalmente se utilizan trampas de condensado.

En los pozos de extracción que tienen altos niveles de lixiviados hay que instalar bombas para su evacuación. Se recomienda que la instalación realizada para el funcionamiento de estas bombas no sea tan rígida, para que se tenga la facilidad de quitarlas e instalarlas en otro lugar cuando el nivel de los lixiviados baje.

5.1.2 PLANTA DE COGENERACIÓN

Luego de realizar una revisión de los equipos que se encuentran actualmente en el mercado para cogeneración, elegimos el que a nuestro juicio se adapta de la mejor manera a las necesidades del proyecto. El proveedor de este equipo es la empresa Deutz Iberia S.A. A continuación se hace una descripción de las principales características de este.

Motor:

Tabla 10. Datos Constructivos del Motor

Tipo	Unidad	Descripción
Disposición		En "V" a 60°
Número de Cilindros		12
Ciclo de trabajo		Otto de gas, cuatro tiempos
Sistema de arranque		Eléctrico
Diámetro de los cilindros	mm	170
Carrera pistón	mm	195
Velocidad de giro	1/min	1500
Relación de compresión		13,5:1
Presión media efectiva	bar	14,6

Fuente: DEUTZ POWER SYSTEMS Iberia S.A.

Las condiciones básicas de funcionamiento del equipo son las siguientes: Presión de aire 1000 mbar, temperatura del aire de combustión 25 C, humedad relativa 60%, temperatura de agua de entrada de refrigeración 50 C.

Tabla 11. Balances energéticos del equipo

Descripción	Unidad	Cantidad
Potencia mecánica del motor	kW	1050
Rendimiento mecánico del motor	%	41
Potencia a $\cos \phi = 1$	kW	1022
Calor disipado en circuito de refrigeración	kW	544
Calor disipado en circuito de baja	kW	96
Radiación motor + alternador	kW	73
Aire de combustión	Kg/h	5037
Gases de escape	Kg/h	5643
Temperatura gases de escape	C	485

Fuente: DEUTZ POWER SYSTEMS Iberia S.A.

Algo muy interesante de este cuadro es la temperatura a la que salen los gases de escape 485 C, es un valor alto el cual se puede aprovechar de muy buena forma en el tratamiento de los lixiviados.

Descripción de los elementos constructivos de motor:

- Bloque motor

De una pieza de fundición esferoidal con cojinetes de cigüeñal suspendidos; camisas de cilindros refrigeradas; aperturas laterales de acceso; ventilación del

cárter del cigüeñal con un separador hacia el sistema de admisión y cárter de aceite acoplado.

- Tren alternativo

Cigüeñal suspendido de acero al Cr-Mo y mecanizado completamente con contrapesos atornillados, cojinetes suspendidos, siendo la sujeción de las tapas de cojinetes por 4 espárragos y asegurados por 2 tornillos horizontales.

Bielas de vástago en doble T con alimentación de aceite lubricante de los cojinetes de biela desde los cojinetes principales a través de orificios en el cigüeñal.

Árbol de levas accionado por el tren de engranajes de la distribución y por cada banco de cilindros.

Pistones de metal ligero forjado de una pieza, con dos anillos de compresión y un anillo rascador. La refrigeración y lubricación de pistones se realiza a través de toberas de rociado de aceite fijadas al cárter del cigüeñal, hacia los canales de aceite de refrigeración de pistones.

- Culatas

Individuales para cada cilindro, de cuatro válvulas, dos de admisión y dos de escape orientadas para un óptimo torbellino, cada una provistas de guías y anillos de asiento especiales. La descarga de gases de escape a la "V" de los colectores de escape. Las culatas incorporan bujías centradas en la cámara de combustión con refrigeración intensiva del asiento de la válvula.

- Encendido

Controlado por microprocesador es un sistema de encendido de alta tensión con una distribución en baja tensión, una bobina de encendido por cilindro, sin partes en movimiento y por tanto sin desgaste, disparadas por picks-ups de efecto may en el volante y árbol de levas, tiempo de encendido ajustable, la energía de ignición y distribución controlada por ordenador en el lado primario de las bobinas, bujías industriales con conectores de Teflón.

- Admisión

El turbocompresor toma el gas/aire del mezclador de gas a presión atmosférica, esta mezcla se enfría tras el turbo en el intercooler de dos etapas (circuito de baja temperatura separado a 43 °C), la válvula de mariposa entre turbo e intercooler permite controlar la potencia.

- Sistema de arranque

Arranque eléctrico en c.c. con motor de arranque Bosch, 24 V.c.c. y corona dentada de arranque sobre el volante.

- Sistema de refrigeración

Tuberías de agua de refrigeración sobre el motor. Válvula termostática motorizada de regulación de temperatura del circuito de baja temperatura, completa incluida PT 100 (suministrada suelta). Válvula termostática motorizada de regulación de temperatura del circuito de alta temperatura, completa incluida PT 100 (suministrada suelta). Sistema de precalentamiento de agua de refrigeración (suministrada suelta). Conexiones flexibles con brida del circuito de agua de refrigeración externo.

- Sistema de lubricación

Bomba de engranajes para engrase del motor. Enfriador de aceite lubricante incorporado. Conducto y tuberías de lubricación. Retorno de aceite del cigüeñal y pistones a la admisión del sistema. Dispositivo automático de control de nivel de aceite montado en la bancada y relleno automático del mismo a través de dos válvulas solenoides (suministradas sueltas) Bomba de prelubricación arrastrada por motor eléctrico, con caudal análogo al de la acoplada al motor para servir de reserva de esta y que se utiliza en el cambio de aceite.

- Sistema de escape

Colector de escape con brida de conexión refrigerado por agua. Compensador de dilataciones tipo flexible para conexión a la tubería de escape.

Alternador:

Alternador síncrono autorregulado y autoexcitado, sin escobillas, con un sistema de regulación electrónica incorporado en la caja de bornas. El ajuste de tensión es de $\pm 5\%$, con una precisión del sistema de regulación del 0,5% a velocidad constante. El alternador tiene una capacidad de cortocircuito de al menos tres veces la intensidad nominal.

El aislamiento del alternador es clase H, siendo el calentamiento previsto la clase F (105° C). La temperatura ambiente máxima es de 40° C, siendo la altitud inferior a 1000 metros.

La sobrecarga admisible es del 10% cada seis horas. El factor de potencia puede variar entre 0,8 y 1 a potencia nominal. El grado antiparasitaje es clase N según VDE 0875.

Lleva incorporado un regulador de tres funciones que permite fijar la potencia reactiva que suministra el alternador ($\cos \phi$: 0,8 a 1). Asimismo, permite igualar las tensiones de red y alternador antes del acoplamiento en paralelo pero no realiza la sincronización de funciones. El alternador está previsto para funcionar en paralelo con otros alternadores o con la red. Lleva un bobinado amortiguador para funcionamiento en paralelo.

El grado de protección es IP23. De igual modo, el grado de protección de la caja de bornes es IP23. El sistema de refrigeración es por aire IC01.

La construcción mecánica es horizontal, de palieres rodamientos reengrasables. La construcción mecánica será bipalier B3(alternadores a 400 V). Se realiza una tropicalización de los bobinados y se da una resina de epoxy para proteger las partes fijas de los ambientes salinos. La sobrevelocidad admisible es de 2.250 r.p.m.

Los elementos anteriormente referenciados constituyen las partes más importantes de la planta de cogeneración.

5.2. ANALISIS AMBIENTAL

Una parte muy importante además de los análisis técnicos y económicos, es la plena identificación de los beneficios ambientales derivados de un proyecto de estas magnitudes, pues al identificarlos y enmarcarlos se identifica la importancia

que tiene mirar el medio ambiente como una parte de nosotros, por que la verdad es que en la medida que dañemos el ambiente recíprocamente nos dañamos a nosotros mismos y a las generaciones venideras.

En lo que se refiere al biogás, se tiene que este no solo posee gases de efecto invernadero como lo es el metano y el CO₂, este ultimo cuando esta presente en biogás se considera como componente natural del ciclo del carbón pues en relación con el metano el CO₂ es 21 veces menos productor de efecto invernadero, es aquí donde se entra en el dilema que el CO₂ se presenta como producto de la combustión de metano, pero que el metano es mas contaminante que el CO₂, entonces así los dos sean contaminantes nos inclinamos por emitir CO₂ que es mucho menos contaminante que el metano; los otros componentes presentes el biogás se traducen en pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles y un sin numero de contaminantes peligrosos del aire según la EPA.

Al estar en este punto y conociendo la necesidad de extraer el gas del relleno para evitar un futuro accidente como el caso del relleno doña Juana en Bogotá en 1997, y conociendo además que no basta con implementar sistemas de extracción espontánea al ambiente; se logra identificar fácilmente que la mejor opción para reducir los impactos ambientales nocivos de la exposición pasiva del biogás es produciendo la combustión del mismo (ya sea quemado espontáneamente, utilizado en un proceso de generación eléctrica, etc) que por consiguiente hay que quemarlo para reducir los niveles de emisiones de contaminantes y olores ofensivos al medio ambiente los cuales actualmente aquejan a la población cercana al sitio de disposición.

Tabla 12. Resumen estimado de producción de emisiones

Año	Estimados de Producción de Emisiones	
	Toneladas CH ₄ /año	Toneladas CO ₂ eq/año
2006	6.071,00	127.491,00
2007	6.801,85	142.838,84
2008	5.407,12	113.549,54
2009	4.338,51	91.108,68
2010	3.511,57	73.743,00
2011	2.876,81	60.413,00
2012	2.387,64	50.140,35
2013	2.006,20	42.130,12
2014	1.709,20	35.893,15
2015	1.479,17	31.062,56
2016	1.298,64	27.271,46
2017	1.155,96	24.275,26
2018	1.042,41	21.890,54
2019	949,23	19.933,84
2020	876,44	18.405,18
2021	815,29	17.121,09
2022	765,79	16.081,60
2023	725,03	15.225,54
2024	687,17	14.430,64
2025	658,06	13.819,17
2026	631,85	13.268,85
2027	608,56	12.779,67
2028	585,26	12.290,50
2029	567,79	11.923,62
2030	550,32	11.556,74

Fuente: Estudio para Banco Mundial SCS Engineers

De acuerdo a los resultados anteriores de los estimados de la producción de metano contenido en el biogás y su equivalencia en dióxido de carbono, es posible determinar la producción real de emisiones de gases de efecto invernadero con la combustión del biogás y con la exposición pasiva de este, a fin de establecer en realidad la reducción efectiva de las emisiones de gases efecto invernadero.

La siguiente tabla muestra las proyecciones de recuperación de biogás que presenta el relleno sanitario el Carrasco, realizando una serie de cálculos con factores como los niveles de metano contenidos en el biogás y la relación de producción de dióxido de carbono derivado de la combustión de metano, se logra realizar un estimado bastante cercano a la realidad (por no decir real, pues tiene un alto grado de certeza) de emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente y determinar que tan recomendable es extraer el gas por venteo pasivo o como beneficia la combustión de este al medio ambiente.

Tabla 13. Niveles de producción y reducción de emisiones de gases efecto invernadero

Año	Recuperación proyectada de Biogás			Estimados de reducción de emisiones		
	m ³ /hr	MBtu/hr	Toneladas equivalentes de CH ₄	Toneladas de CO ₂ equivalente por venteo de Biogás	Emisión de CO ₂ por combustión de Biogás	Reducción real de CO ₂
2007	2336	41,45	6.071,00	127491	16695,25	110795,75
2008	1857	32,95	4.826,13	101348,7958	13271,86612	88076,92969
2009	1490	26,44	3.872,34	81319,1738	10648,93943	70670,23438
2010	1206	21,40	3.134,26	65819,41182	8619,20869	57200,20313
2011	988	17,53	2.567,70	53921,70719	7061,175942	46860,53125
2012	820	14,55	2.131,09	44752,8339	5860,490154	38892,34375
2013	689	12,23	1.790,63	37603,2958	4924,241117	32679,05469
2014	587	10,42	1.525,55	32036,47988	4195,253318	27841,22656
2015	508	9,01	1.320,23	27724,92637	3630,64512	24094,28125
2016	446	7,91	1.159,10	24341,17551	3187,534889	21153,64063
2017	397	7,05	1.031,76	21666,9208	2837,334867	18829,58594
2018	358	6,35	930,40	19538,43236	2558,604238	16979,82813
2019	326	5,79	847,24	17791,98031	2329,902183	15462,07813
2020	301	5,34	782,26	16427,56464	2151,228703	14276,33594
2021	280	4,97	727,69	15281,45548	2001,142979	13280,3125
2022	263	4,67	683,51	14353,65283	1879,645013	12474,00781
2023	249	4,42	647,12	13589,58005	1779,587864	11809,99219
2024	236	4,19	613,34	12880,0839	1686,677654	11193,40625
2025	226	4,01	587,35	12334,31764	1615,208262	10719,10938
2026	217	3,85	563,96	11843,128	1550,885809	10292,24219

Fuente: Adaptado del estudio para el Banco Mundial SCS Engineers

5.3 ANALISIS ECONOMICO

Al momento de realizar el análisis económico del proyecto es importante identificar claramente las características relevantes de cada una de las alternativas propuestas como una posible solución ecológica, económica y eficiente para el mejor aprovechamiento energético del biogás generado en el relleno sanitario El Carrasco.

Como línea base tanto para las alternativas en estudio se asumirá venteo pasivo del biogás, pues es lo mínimo que debería hacerse para no convertir el área de disposición en una amenaza explosiva para la población circundante, otra razón para optar por dicha línea es que la contaminación con metano es constante, lo que quiere decir por ejemplo que es lo mismo ventear 1.000 toneladas equivalentes en 1 año que hacerlo en 1 mes, pues la contaminación es la misma.

Otra característica importante en materia económica, es que los precios están regulados en dólares americanos y estos se encuentran ajustados a una tasa de cambio de 2285 pesos por dólar

Para los análisis económicos que se encuentran detallados en los Anexos B y C, relacionaron los valores de venta de certificado de reducción de emisiones de 3.5 dólares por tonelada CO₂ para la combustión directa, y de 4.5 dólares por tonelada equivalente de CO₂ para la planta de cogeneración.

Como anteriormente ya se mencionó las dos alternativas materia de estudio son:

1. Combustión directa del biogás y evaporación de lixiviados:

Dentro de esta alternativa se enmarcan como factores relevantes, el poder calorífico del biogás cuyo valor promedio es de alrededor de 500 Btu/ft³, los niveles de metano contenidos en el biogás se encuentran aproximadamente en un 50%; además el sistema de evaporación de lixiviados con capacidad de tratar 1.2 litros por segundo de los mismos.

Dentro de los parámetros relevantes de costos derivados de la ejecución de esta alternativa tenemos:

Tabla 14. Costos del sistema de colección y control del biogás

COSTOS DEL SISTEMA DE COLECCIÓN Y CONTROL DEL BIOGÁS INCLUYENDO ESTACION DE QUEMADO Y EVAPORACIÓN DE LIXIVIADO	
CONCEPTO	COSTO ESTIMADO (USD)
Colección, combustión de biogás y evaporación de lixiviado	\$ 375.550,00

Tabla 15. Operación y mantenimiento del sistema de colección

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE COLECCIÓN, COMBUSTIÓN Y EVAPORACIÓN	
CONCEPTO	COSTO ESTIMADO (USD/AÑO)
Operación y mantenimiento de los sistemas, ingeniería y contingencia.	\$ 50.000,00

Tabla 16. Costos de monitoreo y verificación del proyecto

COSTOS DE MONITOREO Y VERIFICACIÓN DEL PROYECTO	
CONCEPTO	COSTO ESTIMADO (USD/AÑO)
Monitoreo y certificación de CER's	\$ 18.000,00

Tabla 17. Indicadores económicos proyecto sin financiación

VPN	305.875,83
TIR	59%
TIO	10%

Tabla 18. Indicadores económicos proyecto financiado

VPN	295.847,04
TIR	#¡NUM!
TIO	10%

En las tablas 17 y 18 se resumen los indicadores económicos resultantes del flujo económico de la alternativa 1, mostrando un alto nivel de rentabilidad por la implementación de dicha opción, pues presenta una tasa interna de retorno bastante alta, tanto financiado como sin financiación del proyecto.

A continuación en la tabla 19 resume en detalle los costos de los equipos que se requieren para la implementación de esta alternativa.

En el Anexo B se encuentra detallado el análisis económico del proyecto debido a la implementación de la alternativa 1.

Tabla 19. Resumen de costos alternativa 1

COSTOS DE CAPITAL DEL PROYECTO ALTERNATIVA 1				
Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Equipo de bombeo de lixiviado y agua lluvia	1/2 HP	25	\$ 118,00	\$ 2.950,00
Tubería principal de biogás (12 pulgadas)	metros	2000	\$ 30,00	\$ 60.000,00
Tubería secundaria de biogás (4 pulgadas)	metros	1300	\$ 22,00	\$ 28.600,00
Trampas de condensado	unidades	2	\$ 4.000,00	\$ 8.000,00
Cañería (12 pulgadas)	metros	100	\$ 10,00	\$ 1.000,00
Estación de quemado	unidades	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
Arranque y prueba de la estación de quemado			\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Equipo de medida y monitoreo de biogás	unidades	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Sistema de evaporación de lixiviados	unidades	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
Ingeniería, contingencia y costos de transacción relacionados con el MDL			\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
TOTAL				\$ 375.550,00

2. Planta de cogeneración con sistema de evaporación de lixiviados

Al igual que en la anterior alternativa tenemos como algunos factores relevantes, el poder calorífico del biogás cuyo valor promedio es de alrededor de 500 Btu/ft³, los niveles de metano contenidos en el biogás se encuentran aproximadamente en un 50%, el sistema de evaporación de lixiviados con capacidad de tratar 1.2 litros por segundo, además una planta de cogeneración con capacidad de generar 1MW de energía eléctrica durante 8000 horas consecutivas; por otra parte se asumió un valor de aproximadamente 75 pesos por kilowatt-hora generado que es un valor bastante conservador, a fin de no alejarnos mucho de la realidad.

Tabla 20. Costos montaje y puesta en marcha de la planta de cogeneración y sistema de evaporación de lixiviados

COSTOS MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN Y SISTEMA DE EVAPORACIÓN DE LIXIVIADOS	
CONCEPTO	COSTO ESTIMADO (USD)
Colección y quemadores de biogás, planta de cogeneración y sistema de evaporación de lixiviados, interconexión eléctrica.	\$ 1.315.250,00

Tabla 21. Costos de operación y mantenimiento de los sistemas

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE COLECCIÓN Y COMBUSTIÓN DE BIOGÁS, PLANTA DE COGENERACION Y SISTEMA DE EVAPORACIÓN	
CONCEPTO	COSTO ESTIMADO (USD/AÑO)
Operación y mantenimiento de los sistemas, ingeniería y contingencia.	\$ 150.000,00

Tabla 22. Costos de monitoreo y verificación

COSTOS DE MONITOREO Y VERIFICACIÓN DEL PROYECTO	
CONCEPTO	COSTO ESTIMADO
Monitoreo y certificación de CER's	\$ 22.000,00

Tabla 23. Indicadores económicos proyecto sin financiación

VPN	248.151,29
TIR	13%
TIO	10%

Tabla 24. Indicadores económicos proyecto financiado

VPN	108.777,04
TIR	12%
TIO	10%

En las tablas anteriores se encuentran indicados los valores de los factores económicos derivados del proyecto de cogeneración con el biogás del relleno,. Los cuales muestran que aunque no es tan rentable como la primera alternativa aun así es rentable, y derivadote esto es un impacto social bastante significativo con la generación eléctrica, además por el hecho de generar con biogás 1 MW de energía se esta dejando de generar el mismo MW por una planta de carbón y por ende disminuyendo la contaminación derivada de las emisiones.

A continuación en la tabla 25 se resume en detalle los costos de los equipos que se requieren para la implementación de esta alternativa.

En el Anexo C se encuentra detallado el análisis económico del proyecto por debido a la implementación de la alternativa 2.

Tabla 25. Resumen de costos alternativa 2

COSTOS DE CAPITAL DEL PROYECTO				
Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Equipo de bombeo de lixiviado y agua lluvia	1/2 HP	25	\$ 118,00	\$ 2.950,00
Tubería principal de biogás (12 pulgadas)	metros	2000	\$ 30,00	\$ 60.000,00
Tubería secundaria de biogás (4 pulgadas)	metros	1300	\$ 22,00	\$ 28.600,00
Trampas de condensado	unidades	2	\$ 4.000,00	\$ 8.000,00
Cañería (12 pulgadas)	metros	100	\$ 10,00	\$ 1.000,00
Quemadores	Unidades	47	\$ 100,00	\$ 4.700,00
Equipo de medida y monitoreo de biogás	unidades	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Sistema de evaporación de lixivios	unidades	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
Ingeniería, contingencia y costos de transacción relacionados con el MDL			\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
Preparación del lugar y montaje de la planta	Unidades		\$ 120.000,00	\$ 120.000,00
Equipo de medida y monitoreo de biogás	Unidades	1	\$ 35.000,00	\$ 35.000,00
Planta de cogeneración de 1,05 MW	Unidades	1	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00
Interconexión eléctrica			\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
Ingeniería y contingencia			\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
TOTAL				\$ 1.315.250,00

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La venta de bonos de carbono es una buena forma para financiar proyectos que ayuden a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de esta forma hacerlos más rentables y atractivos. De tal manera se incentiva el uso de las energías renovables lo cual trae consigo el cuidado y la conservación del medio ambiente.
- En Colombia no se tiene una reglamentación clara para el uso del biogás en usuarios residenciales ni para generación de energía eléctrica, lo cual hace que plantear un proyecto de este tipo se haga más difícil y cree una mayor incertidumbre entre los inversionistas.
- En nuestro país no se tiene un control absoluto sobre la forma en la cual se realiza la disposición de los residuos sólidos urbanos; esta falta de planeación y control ocasiona la contaminación del medio ambiente a raíz del venteo del biogás y la generación de lixiviados en los rellenos sanitarios. Además de los problemas de contaminación mencionados anteriormente se le suma la lentitud para tomar medidas de contingencia para la reubicación de los lugares de disposición final de residuos cuando los ya existentes cumplen su vida útil.
- Los altos costos de importación de los equipos para cogeneración con biogás y la falta de mano de obra calificada para proyectos de este tipo en el país, hacen que su viabilidad decrezca.
- El biogás tiene muchas aplicaciones como combustible como ya se describió dentro del cuerpo del trabajo; lo que hace crecer el precio de su utilización es el alto costo de la limpieza del gas como los procesos de endulzamiento para retirar el H₂S; el otro problema que presenta el biogás generado en un relleno

sanitario es el bajo contenido de metano que alcanza, es aproximadamente el 50% en volumen de la composición del gas.

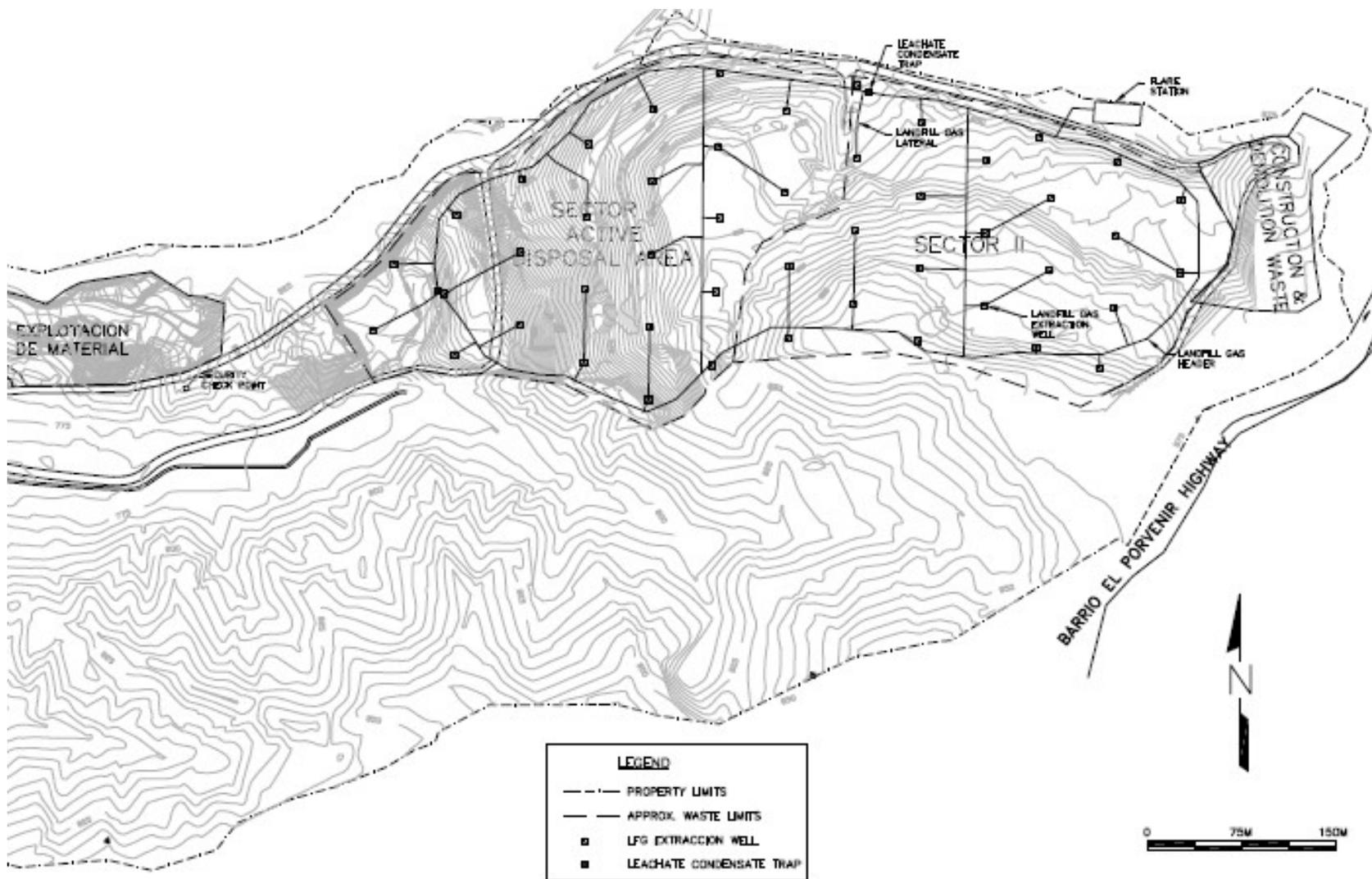
- La realización de un proyecto de estas magnitudes tiende a conjugar diferentes sectores del campo social, político, económico, energético y ambiental, con el fin de lograr materializar una propuesta que se ajuste a todos.
- Los niveles de contaminación con metano se mantienen en el tiempo, es decir es lo mismo emitir 1000 toneladas en un año que en un mes.
- Para el funcionamiento de cualquiera de las alternativas escogidas es recomendable realizar una caracterización correcta de los residuos a disponer, para ello es conveniente capacitar a las personas de que disponer, como y por que.
- Las dos alternativas resultan viables económicamente (con los indicadores utilizados) siempre y cuando no sea necesario financiar el proyecto, pues el la rentabilidad del proyecto no alcanza a cubrir los compromisos adquiridos con las entidades de financiación.
- Para la consecución de los dineros es importante hacer gestión con sistemas de cooperación internacional, con países como Alemania que es uno de los que aporta partidas económicas para la implementación de proyectos MDL en países del tercer mundo.
- El proyecto técnicamente es viable para los dos escenarios; aunque parte de la tecnología para la realización del proyecto no se consigue en Colombia, en muchos países se utiliza desde hace ya algún tiempo con muy buenos resultados y no se tiene problema para traerla.

- Las dos opciones son viables desde el punto de vista económico y ambiental, aunque la primera sea mucho más rentable, es bueno considerar la segunda, pues tiene un mayor valor social y además se aprovecha mejor el recurso disponible.
- La alternativa numero 1 es bastante rentable económicamente, pero solo consiste en quemar el gas y evaporar los lixiviados con los gases de combustión, con lo cual se desperdiciaría el recurso disponible (Biogás), o por lo menos no se le daría el uso adecuado, pues la idea es optimizar al máximo la energía disponible en los recursos, y a la vez utilizar la mínima cantidad posible para realizar un proceso y obtener un alto grado de eficiencia.
- Aunque la segunda alternativa no presenta una rentabilidad económica de las magnitudes de la primera, en esta se le da un uso mas optimo al recurso, pues el biogás se utiliza como combustible para la generación eléctrica y los gases derivados del proceso realizan la evaporación de los lixiviados, con la generación con el biogás se ahorra el tener que generar la misma energía con una térmica a carbón, y por ende la contaminación producida por esta, además se brinda una fuente mas de empleo a las personas que interactúen en el mantenimiento y operación de la planta y se incentiva la promoción y realización de proyectos innovadores que colaboran tanto con la economía como con la sociedad y por supuesto con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- World Bank Group Landfill Gas (LFG), (Estados Unidos), (documento en línea), (citada 22 de marzo de 2005). Disponible en internet [www.World Bank Group Landfill Gas \(LFG\).htm](http://www.WorldBankGroupLandfillGas(LFG).htm)
- Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía, (México), (documento en línea), (citada 15 de julio de 2005). Disponible en internet [www.conae.gob .mx](http://www.conae.gob.mx)
- Secretaria de Desarrollo Social (Mexico), (documento en línea), (citada 14 de abril de 2005). Disponible en www.sedesol.gob.mx
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Colombia), (documento en línea), (citada 28 noviembre de 2005). Disponible en www.minambiente.gov.co
- Empresa de Aseo de Bucaramanga EMAB S.A. E.S.P. (Colombia), Informe relleno Bucaramanga, Marzo de 2005
- Evaluación Financiera de proyectos de inversión. Karen Marie Mokate Segunda edición, febrero de 2004. Universidad de los Andes, Facultad de Economía y Alfaomega Colombiana S.A., Bogotá.

ANEXO A



ANEXOB

Flujo económico del proyecto para la alternativa 1: Combustión Directa del Biogás y evaporación de lixiviados (dólares americanos)

**SIN
FINANCIACION**

Concepto	2.006	2.007	2.008	2.009	2.010	2.011	2.012	2.013	2.014
Índice de recuperación de biogás (m³/h)	0,00	2.336,00	1.857,00	1.490,00	1.206,00	988,00	820,00	689,00	587,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	0,00	6.071,00	4.826,13	3.872,34	3.134,26	2.567,70	2.131,09	1.790,63	1.525,55
CERs metano (ton CO ₂ eq)	0,00	110.795,75	88.076,93	70.670,23	57.200,20	46.860,53	38.892,34	32.679,05	27.841,23
Precio de CER (USD/ton CO ₂ eq)	0,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Ingresos de CER por reducción metano (USD/año)	0,00	387.785,13	308.269,25	247.345,82	200.200,71	164.011,86	136.123,20	114.376,69	97.444,29
Ahorro por pago de tasas retributivas por vertimientos (USD/AÑO)	0,00	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	0,00	390.987,81	311.471,93	250.548,50	203.403,39	167.214,54	139.325,88	117.579,37	100.646,97
Inversión de instalación del sistema	-375.550,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema		-50.000,00	-51.500,00	-53.045,00	-54.636,35	-56.275,44	-57.963,70	-59.702,61	-61.493,69
Monitoreo y verificación anual		-18.000,00	-18.540,00	-19.096,20	-19.669,09	-20.259,16	-20.866,93	-21.492,94	-22.137,73
TOTAL GASTOS ANUALES	-375.550,00	-68.000,00	-70.040,00	-72.141,20	-74.305,44	-76.534,60	-78.830,64	-81.195,56	-83.631,42
FLUJO NETO DE CAJA	-375.550,00	322.987,81	241.431,93	178.407,30	129.097,95	90.679,94	60.495,25	36.383,82	17.015,55

VPN	305.875,83
TIR	59%
TIO	10%

Concepto	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	2.023
Índice de recuperación de biogás (m³/h)	508,00	446,00	397,00	358,00	326,00	301,00	280,00	263,00	249,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	1.320,23	1.159,10	1.031,76	930,40	847,24	782,26	727,69	683,51	647,12
CERs metano (ton CO ₂ eq)	24.094,28	21.153,64	18.829,59	16.979,83	15.462,08	14.276,34	13.280,31	12.474,01	11.809,99
Precio de CER (USD/ton CO ₂ eq)	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Ingresos de CER por reducción metano (USD/año)	84.329,98	74.037,74	65.903,55	59.429,40	54.117,27	49.967,18	46.481,09	43.659,03	41.334,97
Ahorro por pago de tasas retributivas por vertimientos (USD/AÑO)	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	87.532,66	77.240,42	69.106,23	62.632,08	57.319,95	53.169,86	49.683,77	46.861,71	44.537,65
Inversion de instalacion del sistema	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema	-63.338,50	-65.238,66	-67.195,82	-69.211,69	-71.288,04	-73.426,69	-75.629,49	-77.898,37	-80.235,32
Monitoreo y verificación anual	-22.801,86	-23.485,92	-24.190,49	-24.916,21	-25.663,70	-26.433,61	-27.226,62	-28.043,41	-28.884,72
TOTAL GASTOS ANUALES	-86.140,37	-88.724,58	-91.386,31	-94.127,90	-96.951,74	-99.860,29	-102.856,10	-105.941,78	-109.120,04
FLUJO NETO DE CAJA	1.392,30	-11.484,15	-22.280,08	-31.495,82	-39.631,79	-46.690,44	-53.172,33	-59.080,08	-64.582,39

Concepto	2.024	2.025	2.026
Índice de recuperación de biogás (m³/h)	236,00	226,00	217,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	613,34	587,35	563,96
CERs metano (ton CO ₂ eq)	11.193,41	10.719,11	10.292,24
Precio de CER (USD/ton CO ₂ eq)	3,50	3,50	3,50
Ingresos de CER por reducción metano (USD/año)	39.176,92	37.516,88	36.022,85
Ahorro por pago de tasas retributivas por vertimientos (USD/AÑO)	3.362,81	3.530,95	3.707,50
TOTAL INGRESOS	42.539,74	41.047,84	39.730,35
Inversion de instalacion del sistema	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema	-82.642,38	-85.121,65	-87.675,30
Monitoreo y verificación anual	-29.751,26	-30.643,80	-31.563,11
TOTAL GASTOS ANUALES	-112.393,64	-115.765,45	-119.238,41
FLUJO NETO DE CAJA	-69.853,90	-74.717,61	-79.508,06

Flujo económico del proyecto para la alternativa 1: Combustión Directa del Biogás y evaporación de lixiviados (dólares americanos)

CON FINANCIACION

Concepto	2.006	2.007	2.008	2.009	2.010	2.011	2.012	2.013	2.014
Índice de recuperación de biogás (m3/h)	0,00	2.336,00	1.857,00	1.490,00	1.206,00	988,00	820,00	689,00	587,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	0,00	6.071,00	4.826,13	3.872,34	3.134,26	2.567,70	2.131,09	1.790,63	1.525,55
CERs metano (ton CO2 eq)	0,00	110.795,75	88.076,93	70.670,23	57.200,20	46.860,53	38.892,34	32.679,05	27.841,23
Precio de CER (USD/ton CO2 eq)	0,00	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Ingresos de CER por reducción metano (USD/año)	0,00	387.785,13	308.269,25	247.345,82	200.200,71	164.011,86	136.123,20	114.376,69	97.444,29
Ahorro por pago de tasas retributivas por vertimientos	0,00	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	0,00	390.987,81	311.471,93	250.548,50	203.403,39	167.214,54	139.325,88	117.579,37	100.646,97
Inversión de instalación del sistema	-375.550,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema	0,00	-50.000,00	-51.500,00	-53.045,00	-54.636,35	-56.275,44	-57.963,70	-59.702,61	-61.493,69
Monitoreo y verificación anual	0,00	-18.000,00	-18.540,00	-19.096,20	-19.669,09	-20.259,16	-20.866,93	-21.492,94	-22.137,73
Crédito recibido	187.775,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cuota del crédito	0,00	-43.230,36	-43.230,36	-43.230,36	-43.230,36	-43.230,36	-43.230,36	-43.230,36	-43.230,36
TOTAL GASTOS ANUALES	-187.775,00	111.230,36	113.270,36	115.371,56	117.535,80	119.764,96	122.061,00	124.425,92	126.861,78
FLUJO NETO DE CAJA	-187.775,00	279.757,44	198.201,57	135.176,94	85.867,59	47.449,58	17.264,89	-6.846,55	-26.214,81

VPN	295.847,04
TIR	#¡NUM!
TIO	10%

Concepto	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	2.023
Índice de recuperación de biogás (m3/h)	508,00	446,00	397,00	358,00	326,00	301,00	280,00	263,00	249,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	1.320,23	1.159,10	1.031,76	930,40	847,24	782,26	727,69	683,51	647,12
CERs metano (ton CO2 eq)	24.094,28	21.153,64	18.829,59	16.979,83	15.462,08	14.276,34	13.280,31	12.474,01	11.809,99
Precio de CER (USD/ton CO2 eq)	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Ingresos de CER por reducción metano (USD/año)	84.329,98	74.037,74	65.903,55	59.429,40	54.117,27	49.967,18	46.481,09	43.659,03	41.334,97
Ahorro por pago de tasas retributivas por vertimientos	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	87.532,66	77.240,42	69.106,23	62.632,08	57.319,95	53.169,86	49.683,77	46.861,71	44.537,65
Inversión de instalación del sistema	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema	-63.338,50	-65.238,66	-67.195,82	-69.211,69	-71.288,04	-73.426,69	-75.629,49	-77.898,37	-80.235,32
Monitoreo y verificación anual	-22.801,86	-23.485,92	-24.190,49	-24.916,21	-25.663,70	-26.433,61	-27.226,62	-28.043,41	-28.884,72
Crédito recibido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cuota del crédito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL GASTOS ANUALES	-86.140,37	-88.724,58	-91.386,31	-94.127,90	-96.951,74	-99.860,29	-102.856,10	-105.941,78	-109.120,04
FLUJO NETO DE CAJA	1.392,30	-11.484,15	-22.280,08	-31.495,82	-39.631,79	-46.690,44	-53.172,33	-59.080,08	-64.582,39

Concepto	2.024	2.025	2.026
Índice de recuperación de biogás (m3/h)	236,00	226,00	217,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	613,34	587,35	563,96
CERs metano (ton CO2 eq)	11.193,41	10.719,11	10.292,24
Precio de CER (USD/ton CO2 eq)	3,50	3,50	3,50
Ingresos de CER por reducción metano (USD/año)	39.176,92	37.516,88	36.022,85
Ahorro por pago de tasas retributivas por vertimientos	7.707,63	8.093,01	8.497,66
TOTAL INGRESOS	46.884,55	45.609,89	44.520,50
Inversión de instalación del sistema	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema	-82.642,38	-85.121,65	-87.675,30
Monitoreo y verificación anual	-29.751,26	-30.643,80	-31.563,11
Crédito recibido	0,00	0,00	0,00
Cuota del crédito	0,00	0,00	0,00
TOTAL GASTOS ANUALES	-112.393,64	-115.765,45	-119.238,41
FLUJO NETO DE CAJA	-65.509,09	-70.155,56	-74.717,91

Flujo del préstamo Alternativa 1: Combustión Directa del Biogás y evaporación de lixiviado

Valor del sistema de combustión de biogás y evaporación de lixiviado	375.550,00
Valor crédito	187.775,00
Tasa de interés (e.a)	16%
Plazo (años)	8
Cuota anual	43.230,36

Plazo	Saldo inicial	Intereses	Amortización	Cuota	Saldo final
Año 1	187.775,00	30.044,00	13.186,36	43.230,36	174.588,64
Año 2	174.588,64	27.934,18	15.296,18	43.230,36	159.292,46
Año 3	159.292,46	25.486,79	17.743,57	43.230,36	141.548,89
Año 4	141.548,89	22.647,82	20.582,54	43.230,36	120.966,36
Año 5	120.966,36	19.354,62	23.875,74	43.230,36	97.090,61
Año 6	97.090,61	15.534,50	27.695,86	43.230,36	69.394,75
Año 7	69.394,75	11.103,16	32.127,20	43.230,36	37.267,55
Año 8	37.267,55	5.962,81	37.267,55	43.230,36	0,00

ANEXO C

Flujo económico para Alternativa 2: Planta de cogeneración con biogás y sistema de evaporación de lixiviados (dólares americanos)

SIN FINANCIACION

Concepto	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Capacidad bruta de la planta (MW)	0,00	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Capacidad neta de la planta (MW)	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Valor venta de energía a otros (USD/kWh)	0,00	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573
Ganancias de energía	0,00	245.076,58						
Índice de recuperación de biogás (m³/h)	0,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00
Reducción de metano (ton/año)	0,00	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22
Reducción de emisiones (ton CO ₂ eq/año)	0,00	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78
Precio de CERs por red. emisiones (USD/ton CO ₂ eq)	0,00	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Ganancias de CERs por red. emisiones (USD)	0,00	149.403,52						
Ahorro por pago de tasas retributivas por vertimientos	0,00	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	0,00	397.682,78						
Inversión de instalación del sistema de cogeneración	-1.315.250,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema de cogeneración	0,00	-150.000,00	-154.500,00	-159.135,00	-163.909,05	-168.826,32	-173.891,11	-179.107,84
Monitoreo y verificación anual	0,00	-22.000,00	-22.660,00	-23.339,80	-24.039,99	-24.761,19	-25.504,03	-26.269,15
TOTAL GASTOS ANUALES	-1.315.250,00	-172.000,00	-177.160,00	-182.474,80	-187.949,04	-193.587,52	-199.395,14	-205.377,00
FLUJO NETO DE CAJA	-1.315.250,00	225.682,78	220.522,78	215.207,98	209.733,74	204.095,26	198.287,64	192.305,78

VPN	248.151,29
TIR	13%
TIO	10%

Concepto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad bruta de la planta (MW)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Capacidad neta de la planta (MW)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Valor venta de energía a otros (USD/kWh)	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573
Ganancias de energía	245.076,58							
Índice de recuperación de biogás (m³/h)	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00
Reducción de metano (ton/año)	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22
Reducción de emisiones (ton CO ₂ eq/año)	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78
Precio de CERs por red. emisiones (USD/ton CO ₂ eq)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Ganancias de CERs por red. emisiones (USD)	149.403,52							
Tasas retributivas por vertimientos	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	397.682,78							
Inversión de instalación del sistema de cogeneración	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema de cogeneración	-184.481,08	-190.015,51	-195.715,98	-201.587,46	-207.635,08	-213.864,13	-220.280,06	-226.888,46
Monitoreo y verificación anual	-27.057,23	-27.868,94	-28.705,01	-29.566,16	-30.453,15	-31.366,74	-32.307,74	-33.276,97
TOTAL GASTOS ANUALES	-211.538,30	-217.884,45	-224.420,99	-231.153,62	-238.088,23	-245.230,87	-252.587,80	-260.165,43
FLUJO NETO DE CAJA	186.144,47	179.798,33	173.261,79	166.529,16	159.594,55	152.451,91	145.094,98	137.517,35

Concepto	2022	2023	2024	2025	2026
Capacidad bruta de la planta (MW)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Capacidad neta de la planta (MW)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Valor venta de energía a otros (USD/kWh)	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573
Ganancias de energía	245.076,58	245.076,58	245.076,58	245.076,58	245.076,58
Índice de recuperación de biogás (m³/h)	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00
Reducción de metano (ton/año)	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22
Reducción de emisiones (ton CO ₂ eq/año)	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78
Precio de CERs por red. emisiones (USD/ton CO ₂ eq)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Ganancias de CERs por red. emisiones (USD)	149.403,52	149.403,52	149.403,52	149.403,52	149.403,52
Tasas retributivas por vertimientos	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	397.682,78	397.682,78	397.682,78	397.682,78	397.682,78
Inversión de instalación del sistema de cogeneración	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema de cogeneración	-233.695,11	-240.705,97	-247.927,14	-255.364,96	-263.025,91
Monitoreo y verificación anual	-34.275,28	-35.303,54	-36.362,65	-37.453,53	-38.577,13
TOTAL GASTOS ANUALES	-267.970,40	-276.009,51	-284.289,79	-292.818,49	-301.603,04
FLUJO NETO DE CAJA	129.712,38	121.673,27	113.392,99	104.864,29	96.079,74

Flujo económico para Alternativa 2: Planta de cogeneración con biogás y sistema de evaporación de lixiviados (dólares americanos)

CON FINANCIACION

Concepto	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Capacidad bruta de la planta (MW)	0,00	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Capacidad neta de la planta (MW)	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Valor venta de energía a otros (\$/kWh)	0,00	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573
Ganancias de energía	0,00	245.076,58						
Índice de recuperación de biogás (m3/h)	0,00	0,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	0,00	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22
Reducción de emisiones (ton CO ₂ eq/año)	0,00	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78
Precio de CERs por red. emisiones (USD/ton CO ₂ eq)	0,00	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Ganancias de CERs por desp. Energía (USD)	0,00	149.403,52						
Ahorro por pago de tasas retributivas por vertimientos	0,00	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	0,00	397.682,78						
Inversión de instalación del sistema de cogeneración	-1.329.350,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema de cogeneración	0,00	-150.000,00	-154.500,00	-159.135,00	-163.909,05	-168.826,32	-173.891,11	-179.107,84
Monitoreo y verificación anual	0,00	-22.000,00	-22.660,00	-23.339,80	-24.039,99	-24.761,19	-25.504,03	-26.269,15
Credito recibido	657.625,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cuota del cerdito	0,00	-151.401,23	-151.401,23	-151.401,23	-151.401,23	-151.401,23	-151.401,23	-151.401,23
TOTAL GASTOS ANUALES	-671.725,00	-323.401,23	-328.561,23	-333.876,03	-339.350,27	-344.988,74	-350.796,37	-356.778,22
FLUJO NETO DE CAJA	-671.725,00	74.281,55	69.121,55	63.806,75	58.332,51	52.694,04	46.886,41	40.904,56

VPN	108.777,04
TIR	12%
TIO	10%

Concepto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Capacidad bruta de la planta (MW)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Capacidad neta de la planta (MW)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Valor venta de energía a otros (\$/kWh)	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573
Ganancias de energía	245.076,58							
Índice de recuperación de biogás (m3/h)	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22
Reducción de emisiones (ton CO ₂ eq/año)	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78
Precio de CERs por red. emisiones (USD/ton CO ₂ eq)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Ganancias de CERs por desp. Energía (USD)	149.403,52							
Ahorro por pago Tasas retributivas por vertimientos	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	397.682,78							
Inversión de instalación del sistema de cogeneración	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema de cogeneración	-184.481,08	-190.015,51	-195.715,98	-201.587,46	-207.635,08	-213.864,13	-220.280,06	-226.888,46
Monitoreo y verificación anual	-27.057,23	-27.868,94	-28.705,01	-29.566,16	-30.453,15	-31.366,74	-32.307,74	-33.276,97
Crédito recibido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cuota del cerdito	-151.401,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL GASTOS ANUALES	-362.939,53	-217.884,45	-224.420,99	-231.153,62	-238.088,23	-245.230,87	-252.587,80	-260.165,43
FLUJO NETO DE CAJA	34.743,25	179.798,33	173.261,79	166.529,16	159.594,55	152.451,91	145.094,98	137.517,35

Concepto	2022	2023	2024	2025	2026
Capacidad bruta de la planta (MW)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Capacidad neta de la planta (MW)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Valor venta de energía a otros (\$/kWh)	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573	0,030634573
Ganancias de energía	245.076,58	245.076,58	245.076,58	245.076,58	245.076,58
Índice de recuperación de biogás (m3/h)	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00
Reducción de emisiones de metano (ton/año)	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22	1.819,22
Reducción de emisiones (ton CO ₂ eq/año)	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78	33.200,78
Precio de CERs por red. emisiones (USD/ton CO ₂ eq)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Ganancias de CERs por desp. Energía (USD)	149.403,52	149.403,52	149.403,52	149.403,52	149.403,52
Ahorro por pago Tasas retributivas por vertimientos	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68	3.202,68
TOTAL INGRESOS	397.682,78	397.682,78	397.682,78	397.682,78	397.682,78
Inversión de instalación del sistema de cogeneración	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo anual de O&M del sistema de cogeneración	-233.695,11	-240.705,97	-247.927,14	-255.364,96	-263.025,91
Monitoreo y verificación anual	-34.275,28	-35.303,54	-36.362,65	-37.453,53	-38.577,13
Crédito recibido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cuota del credito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL GASTOS ANUALES	-267.970,40	-276.009,51	-284.289,79	-292.818,49	-301.603,04
FLUJO NETO DE CAJA	129.712,38	121.673,27	113.392,99	104.864,29	96.079,74

Flujo del préstamo Alternativa 2: Planta de cogeneración con biogás como combustible

Valor del sistema de cogeneración y sistema de evaporación de lixiviados	1.315.250,00
Valor crédito	657.625
Tasa de interés (e.a)	16%
Plazo (años)	8
Cuota anual	151.401,23

Plazo	Saldo inicial	Intereses	Amortización	Cuota	Saldo final
Año 1	657.625,00	105.220,00	46.181,23	151.401,23	611.443,77
Año 2	611.443,77	97.831,00	53.570,23	151.401,23	557.873,55
Año 3	557.873,55	89.259,77	62.141,46	151.401,23	495.732,08
Año 4	495.732,08	79.317,13	72.084,10	151.401,23	423.647,99
Año 5	423.647,99	67.783,68	83.617,55	151.401,23	340.030,44
Año 6	340.030,44	54.404,87	96.996,36	151.401,23	243.034,08
Año 7	243.034,08	38.885,45	112.515,78	151.401,23	130.518,30
Año 8	130.518,30	20.882,93	130.518,30	151.401,23	0,00