



# **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“PRODUCCION DE ELECTRICIDAD MEDIANTE LA CAPTURA Y  
APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS DE UN RELLENO  
SANITARIO”**

**INFORME DE MATERIA DE GRADUACION**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN POTENCIA**

**Presentado por:**

**GERARDO VINICIO ALTAMIRANO GUERRERO  
ANTONIO JAVIER FREIRE ACOSTA  
DANNY FELIX GALLEGOS VINCES**

**Guayaquil - Ecuador  
Agosto - 2010**

# AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso y a nuestros padres, quienes desde la existencia de nuestra vida nos brindaron un seguro para la vida y un pasaporte para la eternidad, la educación.

Al Ing. Javier Urquizo, por su paciencia y personalidad ha demostrado que:

"..... Los pensamientos y las experiencias se comparten más allá del tiempo y del espacio que separan al escritor de su lector. Quien lee no solo conoce lo que el escritor dijo en un momento, sino que despierta su propio talento para mirar con amplitud la vida y avanzar con optimismo hacia el futuro. Con certeza se dice: tanto lees, tanto sabes."

# DEDICATORIA

A mi Dios por su paciencia y generosidad al bendecirme con vida, a mi madre por su apoyo incondicional y amor, a mi padre y a mi hermana por su aporte incomparable en sabiduría.

Gerardo Altamirano Guerreo

A mis padres y hermana por su paciencia y ayuda durante este largo camino, y haberme inculcado el significado de la humildad,

responsabilidad y felicidad. Sin  
ustedes no lo hubiera logrado.

Antonio Freire Acosta

A Dios y a mi familia por haberme  
enseñado los primeros pasos en  
busca del éxito, acompañado de  
trabajo, honradez y perseverancia en  
todas las acciones que se ha  
presentado en mi vida.

Danny Gallegos Vincas

# TRIBUNAL DE SUSTENTACION

-----

Ing. Douglas Aguirre

PROFESOR DELEGADO POR EL  
DECANO

-----

Ing. Javier Urquizo

PROFESOR DE LA MATERIA  
DE GRADUACION

# **DECLARACION EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

---

Gerardo Vinicio Altamirano Guerrero

---

Antonio Javier Freire Acosta

---

Danny Félix Gallegos Vines

# RESUMEN

“Producción de electricidad mediante la captura y aprovechamiento del biogás de un relleno sanitario” se fundamenta principalmente en la concientización de la sociedad humana para la implementación de sistemas que permitan generar electricidad “verde” en base de materiales ya anteriormente procesados y en desuso.

Se ha procedido en este estudio explicar los conocimientos técnicos y administrativos en cuanto al tema a tratar.

La certificación de industrias ecuatorianas consta como un gran paso para el futuro tecnológico en nuestro país; un elemento que motiva más al empleo de estas, es la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

# INDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACION.....	V
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VI
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XX
INTRODUCCIÓN.....	1

# **CAPITULO I**

## **DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

# **CAPITULO II**

## **SITUACION ACTUAL**

2.1 Antecedentes.....	12
2.2 Información General.....	15
2.2.1 Ubicación.....	15
2.2.2 Geología.....	17
2.2.3 Topografía.....	17
2.2.4 Climatología.....	18
2.3 Infraestructura .....	18
2.3.1 Composición del desecho sólido municipal.....	20
2.3.2 Vías.....	21
2.3.3 Profundidad del desecho.....	21
2.3.4 Capa de cobertura.....	22
2.4 Operación del relleno.....	24
2.4.1 Ingresos de desechos.....	24

2.4.2	Medición de la compactación.....	27
2.4.3	Manejo de gases.....	27
2.4.4	Manejo de lixiviados.....	28
2.4.5	Eliminación de lixiviados.....	29

## **CAPITULO III**

### **NORMAS, PRODUCCIÓN Y CONTROL**

3.1	Modelos estándar y parámetros para la predicción del potencial.....	31
3.1.1	Modelo de primer orden “SWANA”.....	32
3.1.2	Modelo de primer orden modificado “Van Zanten & Scheepers”.....	33
3.1.3	Modelo Polifásico.....	34
3.1.4	Modelo School-Canyon.....	35
3.1.5	Modelo Triangular .....	36
3.1.6	Modelo LandGEM.....	37
3.1.7	Modelo GASFILL “Findikaskis .....	38
3.1.8	Modelo Bingemer y Crutzen .....	39
3.1.9	Parámetros .....	40

3.1.9.1	Constante de generación del metano y valores del potencial de generación del metano .....	40
3.1.9.2	Parámetros FCM, COD <sub>F</sub> , F, R, OX.....	42
3.2	Estándares para la reducción de gases en el aire a partir de los desperdicios municipales sólidos.....	45
3.3	De las responsabilidades en el manejo de desechos sólidos.....	48
3.4	De las prohibiciones en el manejo de desechos sólidos.....	53
3.5	Normas generales para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos.....	57
3.6	Normas generales para la entrega de desechos sólidos no peligrosos...	60
3.7	Normas generales para la recolección y transporte de desechos sólidos no peligrosos.....	61
3.8	Normas generales para la transferencia de desechos sólidos no peligrosos.....	62
3.9	Normas generales para el tratamiento de desechos sólidos no peligrosos.....	64
3.10	Normas generales para saneamiento de los botaderos de desechos sólidos.....	66
3.11	Normas generales para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, empleando la técnica del relleno manual.....	74

3.12	Normas generales para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, empleando la técnica del relleno mecanizado.....	75
3.13	Normas generales para la recuperación de desechos sólidos no peligrosos.....	90
3.14	Operaciones estándar para Sistemas de Control y Recolección del GRS.....	93
3.15	Normas generales para el monitoreo de las operaciones.....	96
3.15.1	Normas generales aplicadas en el campo de recolección del GRS....	98
3.15.2	Normas y factores que determinan la selección de Generación de Energía Eléctrica.....	102
3.16	Estándares para el tratamiento de desechos químicos del Relleno Sanitario.....	104
3.17	Requerimiento de materiales de cubierta para la aplicación de un Relleno Sanitario.....	112
3.18	Control de gases explosivos.....	114
3.19	Activación y desactivación del Sistema de Control de un Relleno Sanitario.....	116
3.20	Normas de rendimiento basado en el diseño.....	116
3.21	Restricciones de los líquidos.....	118
3.22	Revestimiento compuesto y sistema de recolección de lixiviados.....	119

3.23	Procesos de los residuos sólidos urbanos.....	123
3.23.1	Proceso Aerobio.....	123
3.23.2	Proceso Anaerobio.....	124
3.24	Clases de Producción.....	127
3.24.1	Planta de Bio-metanización o ArrowBio .....	129
3.24.1.1	Componentes del Sistema.....	130
3.24.1.2	Control.....	136
3.24.2	Sistema de recuperación de desperdicios.....	141
3.24.2.1	Rellenos Sanitarios.....	141
3.24.2.1.1	Componentes del sistema.....	142
3.24.2.1.2	Control.....	146

## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS ECONOMICO DEL RELLENO SANITARIO “LAS IGUANAS”**

4.1	Estimación del potencial de generación y recuperación de biogás en el Relleno Sanitario “Las Iguanas”.....	153
-----	--	-----

4.1.1	Limitaciones del estudio realizado por Metano Marquet.....	156
4.1.2	Modelo ecuatoriano para la generación de biogás.....	157
4.1.3	Cálculos de la capacidad de generación de biogás.....	158
4.1.3.1	Modelo de emisiones.....	158
4.1.3.2	Estimación de los parámetros de los parámetros de Lo y K para el modelo ecuatoriano.....	160
4.1.3.3	Eficiencia de capacitación.....	162
4.1.3.4	Determinación de los parámetros de K y Lo para el Relleno Sanitario “Las Iguanas”.....	164
4.1.3.4.1	Composición de los desechos.....	164
4.1.3.4.2	Precipitación estimada de agua en el sector.....	166
4.2	Producción de energía eléctrica en base al biogás recuperado.....	168
4.2.1	Estimación de la generación de energía eléctrica del biogás recuperado en el relleno sanitario de las iguanas .....	169
4.3	Estimación de toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> no enviadas a la atmosfera.....	171
4.3.1	Venta de certificados de carbono.....	173
4.4	venta de la energía eléctrica generado al SIN.....	175

4.4.1	Conexión a la red del Relleno Sanitario de la Iguanas.....	175
4.4.2	Marco legal de la venta de energía.....	175
4.4.2.1	Precio de la energía.....	176
4.4.2.2	Potencia límite.....	176
4.4.2.3	Vigencia de los precios.....	177
4.4.2.4	Pago de potencia.....	178
4.5	Especificaciones básicas para un sistema de extracción de biogás.....	178
4.5.1	Perforaciones.....	178
4.5.2	Pozo de gas.....	179
4.5.3	Control de lixiviados.....	181
4.5.4	Red de tubería.....	182
4.5.5	Bomba de gas.....	182
4.6	Costos estimados en el sistema de extracción de gas.....	183
4.7	Costos de equipos de generación.....	184
4.7.1	Costos de los generadores.....	184
4.7.2	Costos de los transformadores.....	184
4.7.3	Costos de operación y mantenimiento.....	185
4.8	Desarrollo del modelo financiero.....	186
4.8.1	Modelo financiero sin préstamo con 100% de inversión y con 70% de inversión.....	188

4.8.2	Modelo financiero sin acogerse a la normativa 009/06.....	189
4.8.3	Determinación del precio de la energía a cobrar para hacer factible el proyecto.....	190
	CONCLUSIONES.....	192
	RECOMENDACIONES.....	197
	ANEXOS	
	BIBLIOGRAFÍAS	

# ABREVIATURAS

Control automático de potencia de transmisión	(FML)
Dióxido de carbono	(CO <sub>2</sub> )
Eastern Research Group	(ERG)
Gas de Rellenos Sanitarios.	(GRS)
Kilogramos	(Kg)
Medida de la acidez o alcalinidad de una solución	(Ph)
Metano	(CH <sub>4</sub> )
Metros	(mt)
Normal metro cubico (°C y 1 atm)	(Nm <sup>3</sup> /hr)
Organismo de Protección Ambiental	(EPA)
Oxigeno	(O <sub>2</sub> )
Partes por millón	(pm)
Razón de cantidad de metano en el biogás generado	(V/V)
Revestimiento de membrana flexible	(HDPE)
Toneladas	(Ton)
Tóxicos existentes en los transformadores	(PCBs)
Unidad de Presión (1psi = 27.68"WC)	(WC)

# INDICE DE FIGURAS

Pág.

## CAPITULO I

Figura #1: Generación de basura en el mundo.....	6
Figura #2: Beneficios globales a partir de los vertederos de basura.....	7

## CAPITULO II

Figura #3: Imagen aérea del relleno sanitario “Las iguanas”.....	16
Figura #4: Componentes de un Relleno Sanitario.....	17
Figura #5: Maquinaria pesada y vehículos del consorcio ILM.....	19
Figura #6: Composición de las membranas de cobertura en un relleno sanitario.....	23

## CAPITULO III

Figura #7: Proceso Anaerobio.....	125
Figura #8: Proceso de los Residuos Sólidos Municipales.....	128

Figura #9: Componentes de la Planta de Biometanizacion.....	130
Figura #10: Proceso general de Control de la Planta de Biometanizacion.....	139
Figura #11: Diagrama de flujo de un Arrowbio.....	140
Figura #12: Aplicación de membranas con material convencional y geosintético.....	144
Figura #13: Proceso de extracción de biogás.....	147
Figura #14: planta del proceso de generación de energía.....	148
Figura #15: Transformación del Biogás en Electricidad.....	148

## **CAPITULO IV**

Figura #16: Curvas estimadas de flujo de Biogás.....	168
Figura #17: Disposición de pozo vertical (fuente estudio de perfectibilidad económica de Methane to markets, apéndice V, página 81.).....	180
Figura #18: Disposición de pozo horizontal (fuente estudio de perfectibilidad económica de Methane to markets, apéndice V, pagina 81).....	181

# INDICE DE TABLAS

Pág.

## CAPITULO II

Tabla #1: Composición del desecho estimado.....	20
Tabla #2: Ingresos de desechos 1995 -2020.....	26

## CAPITULO III

Tabla #3: Tabla de valores para la asignación de la Constante de Generación de Metano (k) .....	41
Tabla #4: Tabla de valores para la asignación del Potencial de Generación del Metano (Lo).....	42
Tabla #5: Tabla de valores para la asignación del FCM según el tipo de Relleno Sanitario .....	43
Tabla #6: Niveles máximos permisibles de contaminantes básicos.....	89
Tabla #7: Asuntos y soluciones de recuperación del GRS.....	101
Tabla #8: Tecnologías de Utilización de GRS y Rangos Típicos de Flujo/Potencia.....	103
Tabla #9: Valores máximos de concentración en los acuíferos.....	117

## CAPITULO IV

Tabla #10: Valores ecuatorianos para los parámetros k y Lo.....	162
Tabla #11: Valores sugeridos para eficiencia de captación de biogás en el Ecuador.....	163
Tabla #12: Composición de desechos estimados en el relleno sanitario de las Iguanas.....	165
Tabla #13: Cálculos de la capacidad de generación de biogás.....	167
Tabla #14: Estimación de la capacidad de energía y potencia eléctrica en relleno sanitario de las Iguanas.....	170
Tabla #15: Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes no enviadas a la atmosfera.....	172
Tabla #16: Valores percibidos anuales por la venta de CERs.....	174
Tabla #17: Pliego tarifario para generadoras no convencionales dictados por el CONECEL por resolución 009/006.....	176
Tabla #18: Costos estimados del sistema de extracción de gas.....	183
Tabla #19: Costos de equipos de generación.....	185
Tabla #20: Valores estimados para los costos de operación y mantenimiento.....	186
Tabla # 21: Resumen de costos.....	187

Tabla #22: Parámetros económicos.....	187
Tabla #23: Modelo financiero al 100 de inversión y 70 % de inversión.....	188
Tabla #24: Modelo financiero bajo el trato de una generadora convencional.....	189
Tabla #25: Indicadores económicos.....	191

## **INTRODUCCION**

En el mundo actual la contaminación se ha vuelto uno de los principales problemas para el medio ambiente, como la quema de grandes sectores de bosques, el descongelamiento de los sectores glaciares, la reducción del grosor de la capa de ozono, el aumento drástico de temperatura y muchos efectos más.

Las ideas basadas en grandes estudios, recopilaciones de algunas fuentes y criterios por parte de nuestro grupo han permitido realizar un minúsculo sacrificio de explicar detalladamente cómo podríamos reducir ligeramente el efecto invernadero y demás consecuencias que atacan en la actualidad al medio ambiente.

Si bien, estamos frente a nuevas ideologías para un mundo mejor, el presente estudio implica la introducción al campo de producción de biogás para el uso de energía eléctrica a partir de los desechos acumulados en los Rellenos Sanitarios.

La tecnología adecuada y experiencias, nos han permitido pensar que en realidad es un hecho, que a partir de la basura podemos sacar provecho y aún más beneficiarnos originando una fuente renovable; para ello, la basura pasa a ser el elemento fundamental.

# CAPITULO I

## DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La madre naturaleza, ha afrontado grandes desastres, tal vez ella, pueda subsistir de aquí en unos cuantos años más, pero los seres humanos no lo podremos hacer.

Con las diferentes alternativas energéticas que se han expuesto han establecido: un gran logro que ha permitido soñar con un planeta que pueda subsistir por cientos de años más, y que la gente de este centenario puso todo de su parte para que nuestros hijos y demás descendencia tengan una herencia que nadie la pueda arrancar: la vida.

Para tratar de salvar al planeta, en 1992 las Naciones Unidas reconocieron que la actividad humana está afectando el equilibrio del planeta debido al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, de esta forma para intentar frenar este problema se estableció la Convención de Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC), producto de aquello en reuniones posteriores se procedió a la firma del Protocolo de Kioto, fundada el 11 de diciembre de 1997.

De tal modo, el protocolo tuvo grandes novedades como la reducción de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), y demás gases en un 5.2 % con respecto a los niveles de 1990, entre los años 2008 y 2012; sin embargo no se han podido cumplir con las metas propuestas; un claro ejemplo son los hábitos de consumismo y desperdicios que se han originado en abundancia en esta última década.

Con el fin de cumplir este objetivo, se crearon mecanismos flexibles de mercado que mitigaron el costo de implementación de las medidas. Uno de estos es el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual permite que los países con metas de reducción de emisiones de GEI, puedan cumplir con sus metas a través de la compra de Certificados de Emisiones Reducidas (CERs) de proyectos ejecutados en países en vías de desarrollo.

Lo mencionado, puede ser un negocio muy rentable debido al respaldo financiero del Banco Mundial, en especial para países como el nuestro ya que al producir energía de una manera limpia a más de reducir la contaminación y aprovechar la energía producida se puede obtener ingresos a través de los bonos de carbón o bonos verdes; para ello se realiza la venta de los ya mencionados CERs en el mercado de carbono a países industrializados los cuales tienen que cumplir con sus compromisos de reducción de Gases de Efecto Invernadero.

El número de estos certificados se otorgan según la cantidad de reducción de emisiones de GEI proveniente de los proyectos de energía renovable, además se los cuantifica como toneladas de CO<sub>2</sub> no enviadas al ambiente por la cual pagan un valor de USD 10 por tonelada de CO<sub>2</sub>.

Muchos países se han involucrado en este mercado, hasta el 2007 China, India y Brasil concentran el 70% del mercado de bonos de carbono.

Brasil hasta el 2005 contaba con poco más del 2% de la oferta mundial de proyectos con un total de 30 iniciativas de las cuales 12 en validación, 17 ya registradas y una bajo solicitud de registro, todas ellas supervisadas por el MDL permitiendo obtener ganancias de las cuales en el 2007 representaban

17 millones de los 150 millones de bonos de carbono de todo el mundo, lo cual implica alrededor del 11% del mercado mundial.

México y Chile también participan de este mercado con una participación de 4% y 1.3% respectivamente. Ecuador también está involucrado en este mercado; hasta el 2007 se contaba con la presencia de 9 proyectos los cuales representarán para el país cerca de USD 22 millones a través de la venta de bonos según la Corporación para la Promoción del Mercado Limpio (CORDELIN).

Además, Ecuador tiene 41 proyectos en trámite de registro y según datos de CORDELIN, el país produciría hasta 3,2 millones de bonos verdes al año y con los cuales podría mover alrededor de USD 224 millones en siete años.

Para la obtención de los CERs no es tan sencilla, estos proyectos se encuentran sometidos a un estricto monitoreo antes de recibir los bonos; en el Ecuador solo 3 de los 9 proyectos hasta el 2007 están acreditados.

Para fácil entendimiento del lector, expondremos cada punto en forma clara de modo que al finalizar este documental permita aclarar sus dudas y llenar su sed de conocimientos.

Es un hecho que en toda sociedad, existe la generación de basura donde a pocos le interesa su ubicación, bueno para esta tarea existen los rellenos sanitarios quienes permiten la acumulación de toda la basura de la ciudad.



**Figura #1:** *Generación de basura en el mundo.*

Generalmente, los desechos sólidos municipales se optan por la incineración con o sin recuperación de energía y la estabilización biológica de los residuos o compost; en tal presencia, los rellenos sanitarios conforman el depósito clave.

Tales Rellenos consisten en abrir una zanja, colocar la basura hasta llenarla y cubrirla, y sucesivamente repetir el proceso. La basura orgánica enterrada en un relleno sanitario sufre un proceso de descomposición mediante el cual se produce el biogás formado por metano ( $\text{CH}_4$ ) en un 50 a 70 %, bióxido de

carbono(CO<sub>2</sub>) en un 25% a 30%, Hidrogeno (H) en menos de 5% y oxígeno(O<sub>2</sub>) en menos del 5%.

Como vemos en un relleno sanitario la producción de metano es sumamente alta, estos gases son enviados a la atmosfera normalmente contribuyendo al efecto invernadero, además cabe decir que el metano es un gas altamente toxico, 22 veces más nocivo que el CO<sub>2</sub> y que literalmente se lo está desperdiciando al no aprovechar su alto grado de combustión; beneficiarnos es lo que planteamos en nuestro trabajo utilizando el metano para la generación de electricidad, aprovechando la inevitable e inagotable materia prima para la generación de biogás.



**Figura #2:** Beneficios globales a partir de los vertederos de basura.

Muchos países del mundo ya han comenzado a explotar esta área. En México la producción diaria nacional de basura en el año 2000 se estimó en

84,200 toneladas, de las cuales, sólo el 53% (44,600 toneladas) se depositaron en 51 rellenos sanitarios. Esto representa una acumulación anual en rellenos sanitarios de 16'279,000 toneladas.

Con esta cantidad de basura acumulada en los últimos cinco años, se hubiese podido instalar una capacidad de generación eléctrica cercana a los 80 MW, e incorporar 16 MW adicionales con la nueva basura que, año con año, se estará acumulando en los rellenos existentes. Es decir, que a lo largo de diez años la capacidad total de generación eléctrica podría ascender a 240 MW, según un Boletín IIE (instituto de Investigaciones Eléctricas), en diciembre del 2003.

Por otro lado España tiene un potencial de generación de biogás agroindustrial de 8.000 millones de m<sup>3</sup>/año, según el ministerio de Ciencia e Innovación por medio del proyecto Probiogás.

Estudios realizados por este proyecto español destacan a través Andrés Pascual, coordinador del proyecto y responsable del departamento de calidad y medio ambiente, que: "1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a la energía de 0,65 m<sup>3</sup> de gas natural y puede llegar a producir 2,1 kWh de electricidad". Lo cual plantea a la generación de biogás como un excelente negocio a más de cuidar el planeta.

Es por esto que la generación de biogás en toda Europa es muy alta, según el Dipl.-Ing. Héctor Miranda, profesor de la UTEC (universidad de Bremen-Alemania) la generación de biogás en su país es de 1100 millones de metros cúbicos al año, en Inglaterra bordea los 450 millones, en Italia alrededor de 280 millones, en Dinamarca cerca de 380 millones y en países como Australia, Bélgica, Grecia, república checa, entre otros tienen una producción cercana a los 190 millones de metros cúbicos de biogás al año. Es decir que en toda Europa se genera alrededor de 2400 millones de metros cúbicos de biogás al año, con los cuales tomando la estimación de Andrés Pascual (coordinador del proyecto Pro-biogás del ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno español) si se lo utilizara únicamente para la generación de energía eléctrica se tendría alrededor de 5.04 MWh de electricidad.

La producción de biogás, se enfoca en la biodegradación de productos; por tanto el terreno debe completar algunos requisitos tales como: el fácil acceso de camiones, ubicación fuera de la ciudad, la superficie sea propia o alquilado por un periodo no menor de diez años, presentación de una topografía ideal en especial para sistema lixiviados, y adaptación a las normas.

En este caso los desechos sólidos municipales que conjuntamente con la carencia de oxígeno y el encapsulado permiten la producción del metano, es

decir, consiste de un proceso anaeróbico, lo cual se presta a la biodegradación, sin olvidar que el proceso mencionado consta de 4 etapas: aeróbica, anóxica, metanogénica y metanogénica declinada; es típico que cada una de ellas ocurra en intervalos de tiempos diferentes.

El diseño y el sistema pueden variar según aspectos económicos, técnicos, y sanitarios como por ejemplo en el soporte superficial del Relleno Sanitario existen métodos, entre ellos son: método de áreas y el método de trincheras.

Eventualmente, uno de los puntos prácticos para la viabilidad de generación del biogás a partir de desechos sólidos municipales se basa en la estimación de producción del metano, sin ello, el estudio técnico-administrativo no tendría algún sentido. Para nuestro caso según estándares e investigaciones se ha optado por la facilitación de 3 métodos, puesto que demás metodologías se basan en los principios de los expuestos a continuación: El primero, el método Scholl-Canyon lo cual implica el fácil ajuste de ciertos parámetros (humedad, residuo orgánico, nivel de compactación, etc.) para su pronóstico; el segundo es el método de Bingemer-Crutzen, usualmente utilizado para rellenos sanitarios que no poseen muchos detalles de información; y finalmente el tercer método LandGEM, que se asimila al primer método.

Muchos beneficios podemos mencionar de la aplicación y uso del biogás, de hecho algunos son: recuperación de energía inmediata, reducción del efecto invernadero en el medio ambiente, ingresos económicos adicionales a través de los RCEs, compra y venta de energía eléctrica, adición al sistema eléctrico de alguna región cercana a ella, si es implementado como sistema de cogeneración podrá emplearse como fuente energética y fuente calorífica. Así que por todos estos beneficios pensamos que nuestro país debería aprovechar las fuentes de biogás disponibles en nuestro país.

## **CAPITULO II**

### **SITUACION ACTUAL**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

Antes de 1984, Guayaquil no contaba con un sitio técnico-sanitario dónde realizar la disposición final de los desechos sólidos, en ese entonces la basura era incinerada, arrojada en lugares baldíos. Los desechos como los lixiviados eran expedidos en el botadero San Eduardo (actualmente ciudad deportiva Carlos Pérez Perasso) y en el Estero Salado.

Este basurero daba mal aspecto a la ciudad, lo que fue motivo de varias manifestaciones de protesta por parte de los ciudadanos directamente afectados, no existían programas de monitoreo de la

calidad de las aguas subterráneas (no superficiales). Las áreas terminadas se dejaban para que la naturaleza suministrara cobertura de pasto.

En este lugar, se presentaban efectos negativos para la fauna, la vegetación natural, los valores estéticos y recreativos; ocasionando aumento de especies nocivas, daños a las aguas subterráneas por incremento en cromo, plomo, mercurio, hierro y cadmio; producción de gas, polvo y presencia de muchos objetos dispersos por el viento. La ciudad estaba plagada de infecciones y la ciudadanía afectada por alergias.

Fue en el mes de abril del año 1992, cuando el Gobierno Nacional declara en estado de emergencia sanitaria a la ciudad de Guayaquil, por este motivo, el Comité Ejecutivo Interministerial firmo un contrato con el Cuerpo de Ingenieros del Ejército para la adecuación y relleno con material de cobertura de las basuras.

Posteriormente se contrató dos empresas Ecu Limpia y Bande para hacerse cargo de la recolección de basura en las zonas A y B en las que se dividió la ciudad.

Continuando con la gestión de la disposición de la basura, la Municipalidad de Guayaquil junto con una empresa suizo-italiana PIMAR S.A. realizó un estudio general que determinó la necesidad de comprar una planta procesadora de basura. Por lo tanto, dicha adquisición fue realizada por un monto de US \$ 24'075.420. Esta planta fue una combinación de mezcladora y separadora que permitiría, a partir de los desechos sólidos, la producción de compost, la recuperación de material de reciclaje y la generación, eventualmente, de energía eléctrica. Debido a problemas económicos, políticos y legales nunca se la llegó a instalar, motivo por el cual se demandó a los contratantes y el gobierno como garante tuvo que finalmente desembolsar US \$ 27'123.562 por el aumento de los intereses.

La M.I. Municipalidad de Guayaquil, realizó los estudios para desarrollar el proyecto "Relleno Sanitario", finalmente se encontró el lugar que hoy es el sector denominado "Las Iguanas"; una cuenca natural (sobre una capa de 10 [mt] de arcilla impermeable) idónea

para éste proyecto. Luego se llevó a licitación pública la contratación para la "Prestación del servicio público de la disposición final de los desechos sólidos".

Al presentar la mejor oferta, el Consorcio ILM ganó el contrato para la prestación del servicio público de disposición final de la basura en el Relleno Sanitario "Las Iguanas", el mismo que hoy se encarga de disponer los desechos sólidos de nuestra ciudad utilizando principios de ingeniería y de salud pública de una manera técnica, evitando graves perjuicio al medio ambiente y molestias o peligros para la salud. El reciclaje solo se realiza en la fuente.

Hoy en día el relleno sanitario continúa abierto las 24 horas del día, los 365 días del año.

## **2.2. INFORMACION GENERAL**

### **2.2.1. UBICACIÓN**

El Relleno Sanitario se encuentra en el extremo Noroeste de la ciudad de Guayaquil, a 14.5 [Km] del centro de la ciudad, próximo a la población llamada "Pascuales" en el sector "Las Iguanas"; sus coordenadas geográficas son. Latitud

9.770.155.856 y longitud 615.937.585 tiene una extensión de 190 hectáreas.

El acceso al sitio es mediante un camino pavimentado de 2km.



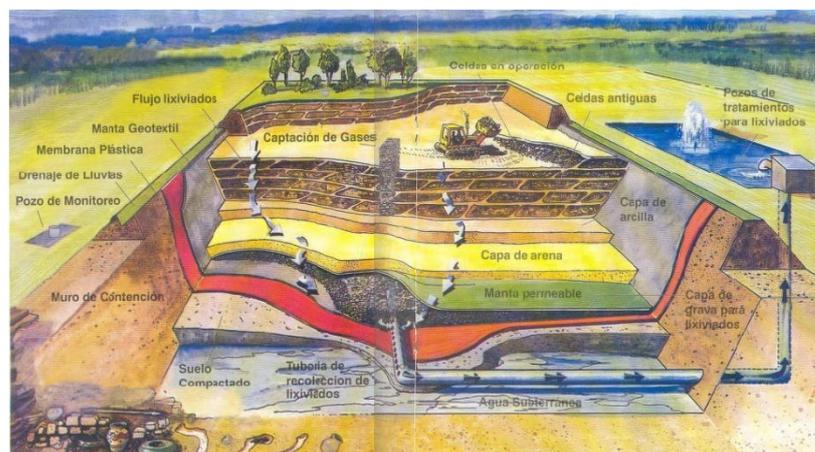
**Figura #3:** Imagen aérea del relleno sanitario “Las iguanas”.

El sitio ha sido dividido dentro de 4 diferentes áreas de colocación de desecho definidas como Sectores A, B, C, y D.

El Sector A ocupa 28.69 [Ha], el sector B se usa solamente para desecho inerte, el sector C ocupa 13.73 [Ha] y el ultimo Sector D, empezó a recibir desecho sólido municipal en Octubre 2006, ocupa 40.71 [Ha]. Los tres diferentes sectores están separados por caminos de acceso internos, pavimentados.

### 2.2.2. GEOLOGIA

La estructura del terreno generalmente constituyen de capas con formación sedimentaria llamada "Cayo", constituido por arcillas muy cohesivas con espesor de 10 [mt], cuyo coeficiente de permeabilidad es  $1 \times 10^{-7}$  [cm/seg]; esto garantiza una impermeabilidad del suelo.



**Figura #4:** Componentes de un Relleno Sanitario

### 2.2.3. TOPOGRAFIA

Su topografía corresponde a una zona con pequeñas cuencas, con desniveles de 80[mt], 70[mt], y 30[m]; esta última se la destina para el depósito de materiales de construcción. El nivel más bajo de las cuencas es la cota 20 sobre el nivel del mar.

#### **2.2.4. CLIMATOLOGIA**

La ciudad de Guayaquil está ubicada en la zona Tórrida de clima tropical lluvioso por tanto su temperatura oscila entre 18 [°C] mínimo en la época seca y 35 [°C] máximo en la época de lluvias.

#### **2.3. INFRAESTRUCTURA**

Para iniciar la operación del vertedero, se contó con un sistema de balanzas eléctricas y mecánicas para pesar los recolectores y demás vehículos que ingresen con capacidad de hasta 35 toneladas; éste sistema se comunica a través de computadoras automáticamente con las oficinas de la Dirección de Aseo Urbano de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil ubicada en el centro de la ciudad.

También se cuenta con una infraestructura vial, con su respectiva iluminación hasta el área de oficinas, ubicadas en la parte alta del proyecto.



**Figura #5:** *Maquinaria pesada y vehículos del consorcio ILM*

Se construyó una red de canales de drenaje de lixiviados sobre el terreno natural donde posteriormente se dispusieron los desechos. Estos canales de forma triangular están cubiertos por una geomembrana de 1 [mm] de espesor y tienen un área de drenaje de 0.63 [m<sup>2</sup>], los que se llenan de piedras de mediano tamaño (5 a 10 [cm]) que sirven para el escurrimiento de los lixiviados, los mismos que se depositan en un tanque de almacenamiento.

Adicionalmente se construyeron las vías de acceso para la explotación del material pétreo que se utiliza para llenar los canales de drenaje de lixiviados y chimeneas, además se construyeron vías a canteras de material fino para suministrar los materiales de cobertura

diaria y canales para desviar las aguas lluvias que escurren por las laderas de la cuenca.

### 2.3.1. COMPOSICION DEL DESECHO SOLIDO MUNICIPAL

Datos acerca de la composición del desecho son estimados y representados en la **Tabla# 1**.

<b>Categoría de desecho</b>	<b>Composición (%)</b>
Comida	58,9%
Papel y Cartón	9,7%
Plásticos	8,0%
Metal	2,6%
Vidrio	2,4%
Recorte de grama, abono	0,0%
Desecho de construcción, incluyendo caucho	9,8%
Desecho de jardín	1,7%
Madera (leña y troncos de árboles)	4,7%
Lodos de aguas residuales	No existe estadísticas

**Tabla #1:** Composición del desecho estimado

### **2.3.2. VIAS**

Contamos con un sistema de vías que comunica la vía principal con los sectores de desechos sólidos (producto de escombros y demolición) y desechos en general. También tenemos vías a las canteras de: arcilla para cobertura y piedras para chimeneas y filtros.

### **2.3.3. PROFUNDIDAD DEL DESECHO**

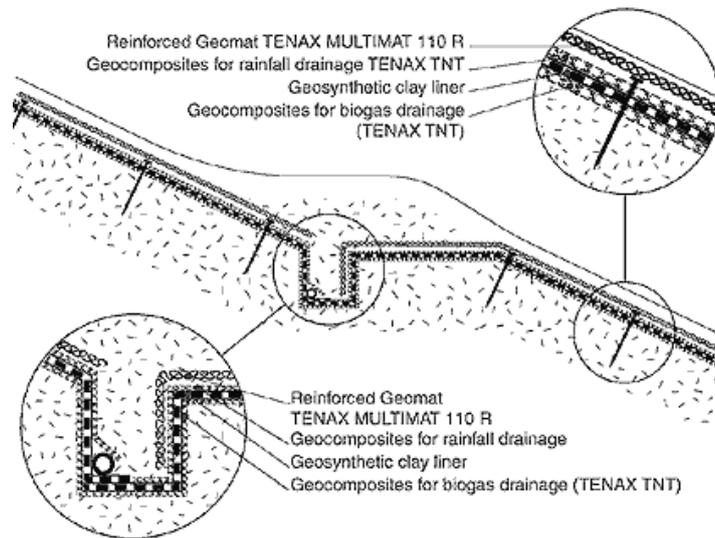
Planos exactos de la ingeniería muestran que la profundidad que abarca la colocación de desechos en el Sector A es de un máximo de 40 [mt] en el centro de la última plataforma, el Sector C tiene una profundidad más pareja de 35 [m], mientras que el Sector D está planificado tener una profundidad máxima de 50 [mt].

Cada plataforma está construida en la parte superior de la capa previa formando terrazas. Cada plataforma posee pendientes de 35 grados que son muy empinadas para el acceso del equipo de perforación.

#### **2.3.4. CAPA DE COBERTURA**

La actual capa de cobertura de desecho está construida de arcilla y suelos que se han obtenido desde los sitios de excavaciones. Diariamente una cubierta es colocada sobre los desechos, por la maquinaria del sitio. Algunas de las plataformas bajas han sido permanentemente cubiertas y selladas con aproximadamente 0.60m de arcilla. Una proporción del área final (alrededor de 25[Ha]). Tiene también suelo vegetal suelto y una diversa vegetación, en su mayoría gramíneas se ha establecido en el área.

El material usado para la cubierta diaria es localmente excavado, compone de arcilla y suelo. Cuando este material se seca se pulveriza fácilmente a un polvo fino, sin embargo cuando se moja forma arcilla de baja permeabilidad



**Figura #6:** Composición de las membranas de cobertura en un relleno sanitario

La cobertura diaria es una capa de arcilla gruesa de 60 cm de espesor, colocada sobre las superficies planas con una capa de 25 cm de espesor sobre los taludes. El uso de la capa de cobertura diaria es principalmente para minimizar olores y limitar la proliferación de plagas y otros vectores. El espesor de la cobertura diaria es suficiente para permitir el movimiento de los vehículos sobre las celdas.

Solamente celdas de desecho activas han expuesto el desecho y no existe evidencia de rompimiento de capas por desecho, más que, en pequeñas áreas asociadas con movimiento de tráfico en los caminos de acceso.

## **2.4. OPERACIÓN DEL RELLENO**

Una vez preparada la zona, se inició la colocación de residuos, disponiéndolas en celdas cuyas zonas de descarga tienen un frente de 20 [mt] y de altura 4.4 [mt]; la pendiente con la que normalmente se trabaja los desechos es 1 vertical, 6: horizontal. Con esta pendiente y los residuos característicos de Guayaquil en época seca se puede compactar las celdas en capas de 0,8 [mt] con rodillos de 45 [Ton].

### **2.4.1. INGRESOS DE DESECHOS**

Por medio de vehículos de recolección ingresan los desechos sólidos municipales al Relleno Sanitario “Las Iguanas”, previo a ser depositados ingresan al sistema de pesaje que lo conforman básculas mecánicas y electrónicas; los registros del peso del vehículo se obtienen a la llegada y salida, estos datos están simultáneamente registrados en las oficinas de la Ciudad de Guayaquil.

Según estudios y estimaciones se ha calculado que El Relleno Sanitario “Las Iguanas” llegara a tener una máxima capacidad para el año 2020.

Datos suministrados por el municipio indican que actualmente hay aproximadamente 8.5 millones de toneladas de desecho, el desecho está siendo depositado actualmente a una tasa aproximada de 850,000 toneladas por año y se espera un incremento en un promedio de 2.4 % por año.

<b>Año</b>	<b>Ingreso Anual Sector A [Ton]</b>	<b>Ingreso Anual Sector C [Ton]</b>	<b>Ingreso Anual Sector D [Ton]</b>	<b>Ingreso de Desechos Total</b>
1995	561.089,00			561.089,00
1996	580.727,00			580.727,00
1997	601.052,00			601.052,00
1998	622.089,00			622.089,00
1999	643.862,00			643.862,00
2000	666.397,00			666.397,00
2001	689.721,00			689.721,00
2002	713.862,00			713.862,00
2003	738.847,00			738.847,00
2004	382.353,00	382.353,00		764.706,00
2005		691.801,00		691.801,00
2006		625.846,00	156.461,00	782.307,00
2007			850.000,00	850.000,00
2008			879.750,00	879.750,00
2009			910.541,00	910.541,00
2010			942.410,00	942.410,00
2011			975.395,00	975.395,00
2012			1.009.533,00	1.009.533,00
2013			1.044.867,00	1.044.867,00
2014			1.081.437,00	1.081.437,00
2015			1.119.288,00	1.119.288,00
2016			1.158.463,00	1.158.463,00
2017			1.199.009,00	1.199.009,00
2018			1.240.974,00	1.240.974,00
2019			1.284.408,00	1.284.408,00
2020			1.329.363,00	1.329.363,00
<b>TOTAL</b>	<b>6.200.000,00</b>	<b>1.700.000,00</b>	<b>15.181.900,00</b>	<b>23.081.900,00</b>

**Tabla #2: Ingresos de desechos 1995 -2020**

Como se menciona existe un sistema de pesaje por lo cual se puede asumir que la información acerca de la cantidad de desecho en el vertedero y la tasa de ingreso de desecho es razonablemente exacta, mas detalles reales y estimados son mostrados en la Tabla# 2.

El ingreso del desecho contiene 91% de desecho domestico municipal y 9.0% de desecho inerte.

#### **2.4.2. MEDICION DE LA COMPACTACION**

El sistema de compactación lo medimos haciendo un levantamiento topográfico del área donde se dispondrán los desechos y al completar 1 día se realiza otro levantamiento sobre los desechos compactados en la misma área. El volumen obtenido de estos datos topográficos, relacionado con el peso de los desechos dispuestos en la celda nos da la densidad, el que siempre es superior a 1 [Ton/m<sup>3</sup>].

#### **2.4.3. MANEJO DE GASES**

Los gases en el vertedero se los controla mediante chimeneas verticales de 1[mt] de diámetro y llenadas con piedras de tamaño mediano (15 cm.), las que están colocadas cada 50m y

circundadas por mallas de gavión, conectadas desde el terreno natural hasta la última capa. Cuando los gases que se emanan llegan a un nivel bajo de explosividad mayor de 5%, se implantan quemadores. En las experiencias en Guayaquil en menos de un año el LEL fue mayor al 5%.

#### **2.4.4. MANEJO DE LIXIVIADOS**

La generación de los lixiviados es inmediata y abundante debido a las condiciones de alta temperatura y humedad; por estas circunstancias la cobertura de las celdas debe ser diaria, por lo cual se requieren espesores de 60 [cm] en la superficie de cada nivel y 20 [cm] en los taludes, éste espesor de cobertura (arcilla) garantiza la no emisión de malos olores y facilitan la transportación de los vehículos sobre las celdas.

Debido a las características de los desechos anteriormente descritos, los primeros lixiviados circularon por canales recolectores a los 7 días de iniciada la operación en el vertedero. Por tal razón, se mantiene un riguroso control de sus niveles manteniendo pendientes (2%) para que los lixiviados escurran hasta el colector rápidamente.

Por la rapidez de la descomposición de los desechos en lixiviados, la información del 30% de posibles asentamientos, la no homogeneidad de los desechos y los resultados de falla de otros rellenos sanitarios; optaron por drenar horizontalmente cada nivel (cada 5m) conectamos el drenaje colector a un tubo el que sale del talud del Relleno (en la boca del vertedor) y dirigirlo exteriormente hacia el tanque recolector.

Con lo mencionado anteriormente se obtuvo un drenaje controlado de cada nivel (cada 5m); los resultados son tales que en 4 años los niveles 20 hasta 35 no producen más lixiviados; se ha logrado mayor estabilidad y seguridad para el vertedor.

#### **2.4.5. ELIMINACION DE LIXIVIADOS**

El método empleado es por evaporación debido que la evapotranspiración potencial anual promedio de la ciudad es de 1.600 milímetros, aunque en épocas de lluvias se requiere el uso de piscinas de almacenaje para posteriormente evaporarlos.

## **CAPITULO III**

# **NORMAS, PRODUCCION Y CONTROL**

Previamente, las normas que se expondrán, fueron consultadas los cuales a partir de: experiencias documentadas existentes en el mundo, desarrollo de actividades que promuevan el uso de esta fuente de energía, identificación de las mínimas condiciones y mejores arreglos de las Instituciones que se encaminan a la utilización de GRS, evaluación de las actuales restricciones tales como recuperación, destrucción o utilización del GRS, y la contribución de implementar una alternativa regional destinada a la reducción de emisiones de metano; han permitido establecer guías aplicables para el ALC con el fin de promover y facilitar

el desarrollo de proyectos de administración y de generación de energía a partir de GRS.

### **3.1. MODELOS ESTANDAR Y PARAMETROS PARA LA PREDICCIÓN DEL POTENCIAL**

Para el estudio y planificación del potencial de generación de GRS, los modelos matemáticos han sido herramientas útiles, usadas para: evaluar los riesgos potenciales asociados a la emisión de gases y a la factibilidad del proyecto.

Es importante, tener en cuenta varios parámetros para la selección correcta del modelo a emplear, por ejemplo:

El parámetro de entrada por lo general es común en todos ellos, es decir la cantidad de residuo es degradable.

Otro parámetro, es el tiempo entre la disposición del residuo y el comienzo de la disposición anaeróbica.

Y, además parámetros pueden variar dependiendo del modelo (información disponible sobre el sitio, método de operación de extracción del GRS, etc).

Es recomendable utilizar un modelo simple debido al análisis de sensibilidad (recolección de datos confiables y predicciones en la producción de gas) de modo que nos basaremos en los modelos de primer orden los cuales permitan al lector comprender con mayor facilidad, además de su aplicación en próximos capítulos. Este análisis es el paso final para la aprobación del método a utilizar.

A continuación se expondrán modelos que proponen la EPA:

### 3.1.1. MODELO DE PRIMER ORDEN “SWANA”

El efecto de los años del desperdicio sobre la producción de gas es incluido en el modelo primer-orden. Para cada cantidad de unidad del desperdicio, la relación de generación de gas del vertedero de basura desciende de manera exponencial. Este modelo puede ser representado de la siguiente manera, **ecuación #1:**

$$Q = k * L_o * M * e^{-k(t-t_0)}$$

Q= Metano producido en el año i desde la sección ith del residuo;

k = Constante de generación del metano;

$L_0$  = Potencial de generación del metano [m<sup>3</sup>/Tonelada];

$M$  = Masa del residuo dispuesto [Tonelada/año];

$t_0$  = Tiempo inicial del residuo [Años];

$t$  = Tiempo después del cierre del vertedero [Años].

### 3.1.2. MODELO DE PRIMER ORDEN MODIFICADO “VAN ZANTEN & SCHEEPERS”

Este modelo supone que la generación de metano es inicialmente baja y luego sube a un máximo antes de descender de manera exponencial. A continuación se muestra en la **ecuación #2**:

$$Q = M * L_0 * \frac{k + s}{s} * \left[ -e^{-s(t-t_0)} * k * e^{-k(t-t_0)} \right]$$

$Q$  = Metano producido en el año  $i$  desde la sección  $i$  del residuo;

$k$  = Constante de generación del metano;

$L_0$  = Potencial de generación del metano [m<sup>3</sup>/Tonelada];

$M$  = Masa del residuo dispuesto [Tonelada/año];

$t_0$  = Tiempo inicial del residuo [Años];

t= Tiempo después del cierre del vertedero [Años];

s= Relación del aumento de la constante de fase del primer-orden.

### 3.1.3. MODELO POLIFASICO

Está basado en el modelo de primer orden "SWANA". Se distingue por las diferentes fracciones del desperdicio con porcentajes diferentes de biodegradación. Su pronóstico relaciona alta generación en los primeros años y formación prolongada al final. Se detalla **ecuación #3**:

$$Q = M * L_0 * \left[ F_r * k_r * e^{-k_r(t-t_0)} + F_s * k_s * e^{-k_s(t-t_0)} \right]$$

Q= Metano producido en el año i desde la sección ith del residuo;

Lo = Potencial de generación del metano [m3/Tonelada];

M = Masa del residuo dispuesto [Tonelada/año];

t0 = Tiempo inicial del residuo [Años];

t= Tiempo después del cierre del vertedero [Años];

Kr= Constante de decaimiento de primer-orden para una descomposición rápida de la basura;

Ks= Constante de decaimiento de primer-orden para una descomposición lenta de la basura;

Fr = Fracción de una descomposición rápida de basura;

Fs = Fracción de una descomposición lenta de basura.

#### 3.1.4. MODELO SCHOOL-CANYON

Es el modelo más común usado para determinar la generación de gas de metano. Scholl-Canyon supone que la fase de lapso es insignificante, la generación de metano alcanza inmediatamente el máximo. Este modelo no implica una fase de lapso, ni considera ningún factor restrictivo como la humedad. Este modelo es representado en la **ecuación #4** de la siguiente forma:

$$Q = k * G = \sum_{i=1}^n r_i * k_i * G_{0i} * e^{-k_i * t_i}$$

n = La cantidad de años de la colocación del desperdicio [Años];

ri= Fracción de desecho total en sub masa i;

$k_i$  = Constante de relación de generación de gas para la sub masa  $i$ ;

$G_{0i}$  = Volumen de metano que se queda para ser producido a  $t=0$  para sub masa  $i$  [ $m^3$ ];

$t_i$  = Edad en años de la sección de desperdicio colocados en el  $i$ th año [Años].

### 3.1.5. MODELO TRIANGULAR

El modelo asume una primera fase en línea recta creciente seguida por una segunda fase en línea recta disminuyendo con respecto a la relación de generación. La relación total es encontrada sumando los componentes individuales dados una vez en particular. En la **ecuación #5**, la generación de metano para la función triangular toma la forma de:

$$Q_{sp} = \frac{2 * L_0}{t_f}$$

$Q_{sp}$  = Relación máxima específica de la generación de metano, en volumen por masa-tiempo.

$t_f$  = Tiempo para completar la degradación [Años].

$L_o$  = Potencial de generación del metano [m<sup>3</sup>/Tonelada];

### 3.1.6. MODELO LANGEM

Es una herramienta utilizada para estimar tasas de emisión de sitios de disposición de residuos sólidos municipales.

LandGEM es uno de los modelos que se basa en una ecuación de descomposición con cinética de primer orden para la cuantificación las emisiones derivadas de la descomposición de residuos biodegradables. El modelo se utiliza para estimar las tasas de emisión total de gases de relleno sanitario como el metano, el dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, y otros contaminantes atmosféricos asociados. Podemos observar en la **ecuación #6**:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k \cdot L_o \cdot \left( \frac{M_i}{10} \right) \cdot e^{-kt_{ij}}$$

$Q_{CH_4}$  = generación anual de metano. [m<sup>3</sup>/año]

$k$  = Tasa de generación de metano. [1/año]

$L_o$  = Potencial de generación de metano. [m<sup>3</sup>/Mg]

$M_i$  = Cantidad de residuos recibidos en el relleno en el año  $i$ th.

[Mg]

$t$  = Tiempo después del cierre. [Años]

El rango típico de  $k$  es de 0,01 a 0,10 y el valor de  $L_0$  está en función del contenido orgánico en los residuos. El bajo contenido de humedad en los residuos podría limitar  $L_0$ .

### 3.1.7. MODELO GASFILL “FINDIKAKIS”

El modelo incluye una fase de lapso, una primera etapa de una rama hiperbólica en aumento, y una segunda fase de reducir la rama exponencial. Esto es asumido debido a que el dióxido de carbono es producido en la misma cantidad molar comparado con el metano y que estos desperdicios están compuestos fácilmente de biodegradación y compuesto de lenta biodegradación; resumida en la **ecuación #7**:

$$Q_j = Q_{pj} * e^{-\lambda_j (t-t_{1j})}$$

$Q_j$ = Relación de generación de metano de desperdicios por  $j$  componentes en volumen por tiempo;

$t_{1j}$ = Tiempo de generación máxima por  $j$  componentes [Años];

$t_{2j}$ = Tiempo en el que la rama hiperbólica de el máximo apogeo cuando se acerca al infinito asintóticamente [Años];

$Q_{pj}$  = Relación de máxima generación de metano en volumen por tiempo;

$\alpha_j, \lambda_j$ = Constantes.

### 3.1.8. MODELO BINGEMER Y CRUTZEN

Este método se recomienda para regiones en las que se dificulta disponer de datos detallados sobre los residuos sólidos y se requiere realizar estimaciones que incluyan el contenido de carbono orgánico degradable en los residuos y la calidad en el manejo del sitio a disposición. Su aplicación es apropiada para estimación de emisiones regionales y de países. Según directrices IPCC, se detalla **ecuación #8**:

$$Emisiones..CH_4(Gg / año) = \left[ RSU_T \cdot RSU_F \cdot L_O \right] \cdot R_{\bar{}} \cdot (1 - OX)$$

RSUT: Cantidad total de residuos sólidos urbanos generados.  
[Gg/año]

RSUF: Fracción de residuos sólidos urbanos eliminados en los rellenos sanitarios.

LO: Potencial de generación de metano. [FCM  
\*COD\*CODF\*F\*16/12 (Gg de CH<sub>4</sub>/Gg de desechos)]

FCM: Factor de corrección para el metano. [Fracción]

COD: Carbono orgánico degradable. [Fracción (Gg C/Gg de Residuo solido urbano)].

CODF: Fracción de COD no asimilada.

F: Fracción por volumen de CH<sub>4</sub> en el gas del vertedero.

R: CH<sub>4</sub> recuperado. [G/año]

OX: Factor de oxidación. [Fracción]

### **3.1.9. PARAMETROS**

#### **3.1.9.1. CONSTANTE DE GENERACION DEL METANO Y VALORES DEL POTENCIAL DE GENERACION DEL METANO**

Debido a la diversidad del terreno y sistemas a utilizarse mencionados desde la sección 1.1.1 hasta la sección 1.1.7, se escogerá los valores de k y Lo según convenga.

No está por más decir que no necesariamente tienen que ser aquellos valores dispuestos, estas tablas que se presentan sirven como guías para la aplicación de los modelos descritos.

A continuación se detallan los Valores de la Constante de Generación del Metano en la **Tabla# 3**, y los Valores del Potencial de Generación del Metano en la **Tabla# 4**.

<b>Precipitación Anual</b>	<b>Rango de Valores k (Según condición del residuo)</b>		
	<b>Relativamente Inerte</b>	<b>Moderablemente Degradable</b>	<b>Altamente Degradable</b>
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 a < 500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 a < 1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

**Tabla #3:** Tabla de valores para la asignación de la Constante de Generación de Metano (k).

<b>Valores de Lo Sugeridos según el Contenido Orgánico del Residuo</b>		
<b>Categorización del Residuo</b>	<b>Valor Mínimo Lo</b>	<b>Valor Máximo Lo</b>
Residuo Relativamente Inerte	5	25
Residuo Moderablemente Degradable	140	200
Residuo Altamente Degradable	225	300

**Tabla #4:** Tabla de valores para la asignación del Potencial de Generación del Metano (Lo).

### 3.1.9.2. PARÁMETROS FCM, COD<sub>F</sub>, F, R, OX

Como se describió en la sección 1.1.7 del Modelo de Bingemer-Crutzen existen parámetros que pueden ser modificados según el transcurso del tiempo, tal enfoque se menciona en la **Tabla# 5:**

Factor de corrección del Metano (FCM)

<b>Clasificación de los Rellenos Sanitarios y Factores de Corrección del Metano (FCM)</b>	
<b>Tipo de Relleno Sanitario</b>	<b>Valores por defecto del FCM</b>
Controlados	1
No controlados	0,8
No controlados	0,4
Rellenos Sanitarios no incluidos en ninguna categoría	0,6

**Tabla #5:** Tabla de valores para la asignación del FCM según el tipo de Relleno Sanitario

La **ecuación #9**, visualiza la conformación del parámetro del Carbono orgánico degradable (COD):

$$\text{COD} = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D)$$

Donde:

A: Fracción de Residuo Sólido compuesta de papel y textiles.

B: Fracción de Residuo Solido Urbano formada por desechos de jardín, desechos de parques u otros elementos orgánicos putrescibles, excluidos los alimentos.

C: Fracción de Residuo Solido Urbano compuesta de restos de alimentos.

D: Fracción de Residuo Solido Urbano compuesta de madera o paja.

Fracción de carbono orgánico degradable no asimilado (CODF)

Las directrices del IPCC proponen un valor de 0,77; sin embargo proyectos realizados han estimado valores próximos entre 0.5 y 0.6, en fin, en la práctica es recomendable el valor de 0,5.

Fracción de CH<sub>4</sub> en el gas de vertedero (F)

Usualmente se considera un valor de 0,5; pero puede variar entre 0,4 y 0,6.

### Recuperación de metano (R)

Por defecto se asume que es cero; solo la presentación de datos basados en la medición de gas que se recupera para ser utilizado como energía puede modificarse tal valor.

### Factor de oxidación (OX)

Según las Directrices del IPCC adoptan un valor de cero, aunque la consideración del valor igual a 0,1 se adapta a Rellenos Sanitarios bien controlados.

## **3.2. ESTÁNDARES PARA LA REDUCCIÓN DE GASES EN EL AIRE A PARTIR DE LOS DESPERDICIOS MUNICIPALES SÓLIDOS**

- a) Cada propietario u operador de un Relleno Sanitario de desechos sólidos municipales que tenga una capacidad de diseño menor a 2.5 millones mega gramos por masa ó 2.5 millones metro cúbicos por volumen presentará un informe de capacidad de diseño inicial para el administrador; la capacidad del diseño estará en mega gramos o en metro cúbicos para la comparación con los valores de exceptuación. Cualquier conversión de densidad será documentada

y enviada con el informe. La afirmación de lo expuesto cumplirá los requisitos de este sub-parte exceptuando condiciones sujetas de los siguientes ítems de esta sección.

- 1) El propietario o el operador presentarán un informe de capacidad de diseño corregido al administrador.
- 2) Cuando exista un incremento dentro del diseño máximo de capacidad de un Relleno Sanitario exceptuando esta sección.

b) Si existiera en el Relleno Sanitario desechos sólidos municipales que posean una capacidad de diseño igual o mayor a 2.5 millones mega gramos por masa ó 2.5 millones metro cúbicos por volumen estará sujeto a procedimientos anuales para el cálculo de la tasa de smog,

Además cumplirá los siguientes requerimientos:

- 1) Si el cálculo de tasa de emisión de smog es menor a 50 mega gramos por año, el propietario u operador debe:
  - I. Presentar un informe de emisión de gas anual para el administrador.

II. Re-calcular anualmente la tasa de emisión de smog usando los procedimientos específicos usados en la sección de métodos de Evaluación.

2) Si el cálculo de tasa de emisión de smog es mayor o igual a 50 mega gramos por año, el propietario o el operador deben:

I. Enviar un sistema de recolección y plan de diseño de control preparado por un ingeniero profesional al administrador dentro de 1 año.

II. Instalar un sistema de control de colección de gas; de modo que incluye: operaciones estándar, métodos de prueba, procedimientos, medidas de acatamiento, monitoreo, registro de grabaciones.

Por tanto, un sistema activo de colección de gas requiere que:

i. Sea diseñado para manejar una esperada máxima tasa de circulación de gas de la área entera del Relleno Sanitario que garanticen durante el período de uso previsto del control de gas o el equipo de sistema de trato;

- ii. La colección inicial de los desechos sólidos de cada área del Relleno Sanitario han sido instalados por un periodo de: 5 años ó más si es activo; ó 2 años ó más si está cerrado.
- iii. La tasa de colección de gas sea suficiente;
- iv. Sea diseñado para minimizar la emigración exterior del gas subterráneo.

Mientras, un sistema Pasivo de Colección debe cumplirse las condiciones especificadas del párrafo II (i) y II (iv).

### **3.3. DE LAS RESPONSABILIDADES EN EL MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS**

- a) La administración de los desechos sólidos se encontrará bajo responsabilidad de los municipios de acuerdo a la Ley de Régimen Municipal y el Código de Salud. Según su conformidad el municipio podrá contratar o conceder a otras entidades las actividades de servicio, sin embargo, esto no lo libera de su responsabilidad.

- b) Será responsabilidad de las entidades de aseo recolectar los desechos sólidos de los contenedores de almacenamiento público de modo que nunca se rebase la cantidad del contenido máximo del contenedor.
  
- c) Los vendedores ambulantes o asociaciones que los agrupan deberán mantener limpia la vía pública que ocupen para realizar sus actividades y tener su propio sistema de almacenamiento de desechos sólidos, el cual debe ser aprobado por la entidad de aseo, así como la coordinación de su recolección.
  
- d) El propietario de alguna obra o construcción será el responsable por la acumulación de desechos sólidos que se ocasionare en la vía pública, estando obligado a dejar limpio el espacio afectado.
  
- e) La entidad de aseo establecerá un período de tiempo máximo permitido a fin de que el titular de la obra retire la tierra y escombros, disposición que deberá ser acatada o en caso contrario, la entidad de

aseo podrá retirar estos materiales, cobrando al infractor los costos que demande este servicio, con los recargos correspondientes.

f) Los propietarios de terrenos y solares tienen las siguientes responsabilidades:

- 1) Conservarlos en condiciones adecuadas de higiene, salubridad y seguridad.
- 2) Ejecutar labores de desinfección de manera periódica.

g) Será responsabilidad de los municipios la realización de trabajos de limpieza y mantenimiento de terrenos baldíos, en casos en que el propietario del terreno no los realice.

En caso de ausencia de los propietarios, previa autorización, la entidad de aseo podrá acceder a la propiedad privada y ejecutar los trabajos de limpieza y cerramientos, este último si fuese posible.

Los costos que demande la ejecución, la entidad de aseo los recuperará con recargos a los responsables, mediante el municipio de la ciudad.

h) Toda actividad que pueda alterar la limpieza de los espacios públicos generando desechos sólidos, sus titulares y/o contratistas, son responsables de:

Adoptar todas las medidas necesarias para evitar que los espacios públicos se ensucien, así como limpiarlos y retirar los desechos sólidos.

i) La limpieza de los elementos destinados al servicio ciudadano situados en la vía o espacios públicos, tales como cabinas telefónicas, paradas de buses, etc., corresponderá efectuarla a los titulares administrativos de los respectivos servicios.

j) Son responsabilidades de los propietarios de animales domésticos o mascotas, las siguientes:

1) Responder por cualquier acción que ocasione daños o afecciones a personas, así como por la acumulación de desechos sólidos en los espacios públicos, producida por los animales de su pertenencia.

2) Limpiar inmediatamente los excrementos de sus mascotas.

k) Se podrá recibir en el relleno sanitario canes y felinos, que como medida de precaución han sido sacrificados en las campañas llevadas a efecto por las autoridades de salud.

No se deberá recibir en ningún relleno sanitario, animales que hayan muerto por rabia o animales provenientes de pruebas de laboratorio, bioensayos, etc., para estos animales se recomienda la incineración.

l) La entidad de aseo deberá implantar sistemas de recogida selectiva de desechos sólidos urbanos, que posibiliten su reciclado u otras formas de valorización.

m) El manejo de los desechos sólidos generados fuera del perímetro urbano de la entidad de aseo, debe estar a cargo de sus generadores, quienes deberán cumplir las disposiciones antes mencionadas.

n) Los Ministerios, las Municipalidades y otras instituciones públicas o privadas, dentro de sus correspondientes ámbitos de competencia, deberán establecer planes, campañas y otras

actividades tendientes a la educación y difusión sobre los medios para mejorar el manejo de los desechos sólidos no peligrosos.

o) Las industrias generadoras, poseedoras y/o terceros que produzcan o manipulen desechos peligrosos deben obligatoriamente realizar la separación en la fuente de los desechos sólidos normales de los peligrosos; así como facilitar la información sobre el origen, naturaleza, composición, características, cantidades, forma de evacuación, sistema de tratamiento y destino final de los desechos sólidos, de modo que faciliten a personas autorizadas por el municipio a realizar inspecciones.

#### **3.4. DE LAS PROHIBICIONES EN EL MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS**

a) Se prohíbe limpiar en espacios públicos, vehículos livianos, de transporte pesado, hormigoneras, buses y otros, siendo responsables de esta disposición el propietario del vehículo y el conductor, estando ambos obligados a reparar los daños causados.

b) Se prohíbe arrojar o depositar desechos sólidos fuera de los contenedores de almacenamiento.

- c) Se prohíbe la localización de contenedores de almacenamiento de desechos sólidos en áreas públicas. Sin embargo la entidad de aseo podrá permitir su localización en tales áreas, cuando las necesidades del servicio lo hagan conveniente.
  
- d) Se prohíbe la colocación de animales muertos, cuyo peso sea mayor a 40 Kg y de desechos sólidos de carácter especial, en contenedores de almacenamiento de uso público o privado en el servicio ordinario.
  
- e) Se prohíbe la quema de desechos sólidos en los contenedores de almacenamiento de desechos sólidos.
  
- f) Se prohíbe la instalación de incineradores de desechos sólidos en edificios comunales o viviendas multifamiliares, en caso de existir debe estar previamente aprobado por la Entidad Ambiental de Control.

- g) Además se prohíbe lo siguiente:
- 1) El abandono, disposición o vertido de cualquier material residual en espacios públicos.
  - 2) Verter cualquier clase de productos químicos.
  - 3) Abandonar animales muertos en los lugares públicos y en cuerpos de agua.
- h) Se prohíbe la entrada y circulación de los operarios de recolección en inmuebles o predios de propiedad pública o privada con el fin de retirar los desechos sólidos, exceptuándose casos especiales en que los vehículos recolectores tengan que ingresar a la propiedad, siendo necesaria una autorización previa.
- i) Se prohíbe que el generador de desechos sólidos entregue los desechos a persona natural o jurídica que no posea autorización de la entidad de aseo, aquél y ésta responderán solidariamente de cualquier perjuicio causado por las mismas y estarán sujetos a la imposición de las sanciones que establezcan las autoridades pertinentes.

- j) Se prohíbe en el relleno sanitario y sus alrededores la quema de desechos sólidos.
  
- k) Se prohíbe dentro del área del relleno sanitario la crianza de cualquier tipo de animal doméstico.
  
- l) Se prohíbe la disposición de desechos sólidos peligrosos en el relleno sanitario de la ciudad, los cuales se encontrarán listados en la Normativa para Desechos Peligrosos, que emitirá el Ministerio del Ambiente.
  
- m) Se prohíbe mezclar desechos sólidos peligrosos con desechos sólidos no peligrosos.
  
- n) Se prohíbe emplear a menores de edad en la recolección, eliminación o industrialización de desechos sólidos.

### **3.5. NORMAS GENERALES PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS**

a) Los municipios y las empresas prestadoras del servicio de aseo, deberán realizar campañas con el objetivo de:

- 1) Minimizar la cantidad producida.
- 2) Controlar las características de los productos, para garantizar su degradación cuando no sean recuperables.
- 3) Propiciar la producción de empaques y envases recuperables.
- 4) Evitar, en la medida en que técnica y económicamente sea posible, el uso de empaques y envases innecesarios para la prestación de los productos finales.
- 5) Promover el reciclaje
- 6) Concientización ciudadana.

b) Las entidades encargadas del servicio de aseo deberán tener un programa para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, que cumplirá con las necesidades del servicio de aseo y que incluya, entre otros, los siguientes aspectos:

- 1) Establecimiento de rutas y horarios para recolección de desechos sólidos, que serán dados a conocer a los usuarios.
  - 2) Mantenimiento de los vehículos y equipos auxiliares destinados al servicio de aseo.
  - 3) Entrenamiento del personal comprometido en actividades de manejo de desechos sólidos en lo que respecta a la prestación del servicio de aseo y a las medidas de seguridad que deben observar.
  - 4) Actividades a desarrollar en eventos de fallas ocurridas por cualquier circunstancia, que impida la prestación del servicio de aseo.
  - 5) Mecanismos de información y educación a los usuarios del servicio, acerca de la entrega de los desechos sólidos en cuanto a ubicación, tamaño o capacidad del recipiente y otros aspectos relacionados con la correcta prestación del servicio.
- c) Para el manejo de los desechos sólidos generados fuera del perímetro urbano de la entidad de aseo, se deberán seguir los lineamientos establecidos en esta norma, como: Almacenamiento,

entrega, barrido y limpieza de las vías públicas, recolección, transporte y disposición final.

La disposición final de los desechos sólidos y semi-sólidos se realizará en rellenos sanitarios manuales o mecanizados.

d) Las actividades de manejo de desechos sólidos deberán realizarse en forma tal que se eviten situaciones como:

1) La permanencia constante en vías y áreas públicas de desechos sólidos.

2) La proliferación de vectores y condiciones que propicien la transmisión de enfermedades a seres humanos o animales.

3) Los riesgos a operarios del servicio de aseo o al público en general.

4) La contaminación del aire, suelo o agua.

**5) Los incendios o accidentes.**

### **3.6. NORMAS GENERALES PARA LA ENTREGA DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS**

- a) En el caso de urbanizaciones, barrios o conglomerados con calles internas o cuyas condiciones impidan la circulación de vehículos de recolección, así como en situaciones de emergencia, los habitantes deben obligatoriamente trasladar los desechos sólidos a los sitios que la entidad de aseo determine.
  
- b) En el servicio ordinario los recipientes de recolección de los desechos sólidos deben colocarse en la acera o en los lugares que específicamente señale la entidad de aseo.
  
- c) Los recipientes colocados en sitios destinados para la recolección de desechos sólidos en el servicio ordinario, no deben permanecer en tales sitios durante días diferentes a los establecidos por la entidad que preste el servicio.
  
- d) Los desechos sólidos compactados que se presenten para recolección deben cumplir las exigencias expuesta en este capítulo.

### **3.7. NORMAS GENERALES PARA LA RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS**

- a) La recolección y transporte de desechos sólidos no peligrosos debe ser efectuada por los operarios designados por la entidad de aseo, de acuerdo con las rutas y las frecuencias establecidas para tal fin.
  
- b) Debe entenderse como operaciones en el sistema de recolección y transporte de desechos especiales las siguientes:
  - 1) La carga de los desechos sólidos sobre el vehículo destinado para este fin, efectuada al interior del establecimiento o en la vía pública. Esta operación se entenderá tanto si se la hace mediante el vaciado del contenedor o si se procede a su carga directa.
  
  - 2) El transporte propiamente de los desechos sólidos hasta su destino final.
  
- c) El personal encargado de la recolección y transporte de desechos sólidos debe cumplir con sus jornadas de trabajo, utilizando la vestimenta y equipos adecuados para proteger su salud.

d) Los equipos, accesorios y otros implementos de que estén dotados los vehículos destinados a la recolección y transporte de desechos sólidos, deben estar en correctas condiciones mecánicas y sanitarias para la prestación oportuna del servicio.

e) El transporte de los desechos sólidos no peligrosos, deberá cumplir con las normativas de tránsito pertinentes.

### **3.8. NORMAS GENERALES PARA LA TRANSFERENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS**

a) Las entidades encargadas del servicio de aseo podrán disponer de estaciones de transferencia, cuando las necesidades del servicio lo requieran.

b) El diseño y construcción o instalación de estaciones de transferencia de desechos sólidos, deberá sujetarse a las normas de planeación urbana, para su aprobación el Municipio respectivo exigirá una autorización previa a la Entidad Ambiental de Control.

c) La localización y funcionamiento de las estaciones de transferencia de desechos sólidos deberán reunir como mínimo las siguientes condiciones:

- 1) Facilitar el acceso de vehículos.
- 2) No estar localizadas en áreas de influencia de establecimientos educativos, hospitalarios, militares, de recreación y otros sobre cuyas actividades pueda interferir;
- 3) No obstaculizar el tránsito vehicular o peatonal, ni causar problemas de estética;
- 4) Tener sistema definido de carga y descarga;
- 5) Tener sistema alternativo para operación en caso de fallas o emergencias;
- 6) Tener sistema de suministro de agua en cantidad suficiente para realizar actividades de lavado y limpieza; y,
- 7) Disponer de los servicios básicos que permitan su funcionamiento.

d) Cuando se realicen actividades de transferencia y de recuperación en un mismo establecimiento, éstas deberán someterse también a las disposiciones de esta Norma, además deberán disponer de sistemas alternos que permitan, en casos de fallas o emergencias, el normal funcionamiento de las estaciones.

e) Al término de cada jornada de trabajo se deberá proceder a la desinfección general de todos los locales y áreas que conforman la estación de transferencia.

f) Para detalles específicos relacionados con el sistema de transferencia de desechos sólidos, se deberán utilizar las Normas de Diseño para la Elaboración de Proyectos de Sistemas de Aseo Urbano que emitirá el Ministerio del Ambiente.

### **3.9. NORMAS GENERALES PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS**

a) Los desechos sólidos cuando luego del análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental no puedan ser reciclados o reutilizados, deberán ser tratados por el generador de los desechos,

con la finalidad de mejorar sus condiciones para su disposición final o eliminación, por ello los fines del tratamiento son:

- 1) Reducción del volumen.
  - 2) Reducción del peso.
  - 3) Homogeneización de componentes.
  - 4) Reducción y uniformización del tamaño.
- b) El funcionamiento, construcción, ampliación o modificación de las plantas de tratamiento de desechos sólidos deberá contar con la autorización y aprobación de funcionamiento expedida por la Entidad Ambiental de Control.
- c) En el funcionamiento de los incineradores de desechos sólidos, deberá darse cumplimiento a las disposiciones contempladas en la **sección 2.2.**
- d) Para detalles específicos relacionados con el sistema de tratamiento de desechos sólidos, se deberán utilizar las Normas de

Diseño para la Elaboración de Proyectos de Sistemas de Aseo Urbano que elaborará el Ministerio del Ambiente.

### **3.10. NORMAS GENERALES PARA SANEAMIENTO DE LOS BOTADEROS DE DESECHOS SÓLIDOS**

a) La siguiente información básica se deberá obtener como paso previo para sanear un botadero de desechos sólidos:

- 1) Población que atiende el Botadero de desechos sólidos.
- 2) Datos generales sobre las características de la Población que se atiende con el Botadero de desechos sólidos.
- 3) Cantidad de desechos sólidos producidos por la población atendida.
- 4) Producción futura de desechos sólidos.
- 5) Cantidad de desechos sólidos recolectados.
- 6) Cobertura del servicio.
- 7) Composición física de los desechos sólidos.
- 8) Composición química de los desechos sólidos.
- 9) Peso específico de los desechos sólidos.

- 10) Producción de lixiviados y gases.
- 11) Localización general del sitio, con relación a la población atendida.
- 12) Geología de la zona.
- 13) Topografía del área.
- 14) Meteorología.
- 15) Posibilidad de material de cobertura.
- 16) Censo vehicular (viajes de desechos sólidos que entraran en el Botadero).
- 17) Títulos de propiedad.

b) Para el saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos se deberá realizar el diseño respectivo que tendrá como mínimo los siguientes requisitos:

- 1) Información Previa.

Comprende la información correspondiente a la comunidad, por intermedio de la prensa hablada y escrita, indicando cuando se

inician las obras, en qué consisten, cual debe ser la participación de los usuarios y cuál será su uso futuro.

## 2) Servicio de Vigilancia.

Se determinará el número de vigilantes para que realicen sin ser limitativas las siguientes actividades:

- I. Controlar y vigilar a las personas que llegan;
- II. Controlar y vigilar los vehículos que entran y salen;
- III. Facilitar las obras correspondientes al saneamiento;
- IV. Proteger la maquinaria; y
- V. Despejar si existe presencia de animales.

## 3) Cerco y Puerta.

Se deberá diseñar un encerramiento de la propiedad por medio de un cerco que indique los límites y controle la entrada de animales que puedan dañar los trabajos que realizarán en el sitio.

## 4) Caseta de Control.

Se deberá diseñar a la entrada del Botadero de Desechos Sólidos la cual tendrá como funciones principales resguardar

de las inclemencias del clima a los vigilantes que controlan la entrada al sitio, tener un lugar donde guardar las hojas de control de entrada de personal; y camiones con desechos sólidos, guardar los elementos menores de trabajo y ser un lugar en donde puedan cambiarse y guardar la ropa los trabajadores. Además deberá tener espacio para un pequeño escritorio, casillas para la ropa de los trabajadores y un cuarto donde guardar las herramientas menores de trabajo, tales como palas, picas y carretas.

#### 5) Recolección de Lixiviados.

Se deberán localizar los sitios donde se ubicarán los filtros o canales para los lixiviados, además se diseñarán y construirán los mismos, para que los lixiviados por gravedad se dirijan hacia las partes bajas, y luego a su tratamiento como paso previo a su disposición final.

#### 6) Medición del Caudal de Lixiviados y dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento.

Se deberá diseñar la medición del caudal de lixiviados y dimensionamiento del tanque de almacenamiento, en el sitio donde se concentren o donde lleguen los canales recolectores.

Se deberá diseñar un tanque de almacenamiento, con una capacidad de por lo menos tres días de producción en el mes más lluvioso. Es de importancia tener en cuenta que el tanque de almacenamiento deberá tener su correspondiente diseño estructural.

#### 7) Análisis fisicoquímicos.

Se deberá realizar como mínimo los siguientes análisis físico-químicos a los lixiviados captados como efluentes del Botadero de desechos sólidos:

Temperatura, pH, DBO5, DQO, sólidos totales, nitrógeno total, fósforo total, dureza, alcalinidad, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, hierro, sodio, potasio, sólidos disueltos, plomo, mercurio, cadmio, cromo total, cianuros, fenoles y tenso-activos.

Basándose en los resultados obtenidos inicialmente, se deberá decidir el listado de los parámetros a medir periódicamente.

#### 8) Manejo de Gases.

El manejo de gases deberá realizarse mediante el uso de chimeneas y su combustión se hará mediante un quemador o

mechero encendido para quemar el gas que sale de las chimeneas.

9) Estabilidad de Taludes.

Se deberá diseñar taludes estables, analizando la estabilidad estática y dinámica (sismos).

10) Control de Aguas Lluvias.

El control de las aguas lluvias deberá realizarse por medio de canales interceptores, que no permitan que las aguas lluvias pasen sobre los desechos sólidos.

Estos canales deberán diseñarse teniendo en cuenta la intensidad de las lluvias, el área de drenaje y el tipo de suelo.

11) Otros Controles.

Se debe realizar el diseño, que como mínimo contendrá los siguientes controles:

- I. Control de Animales Grandes.
- II. Control de Insectos y Roedores.
- III. Control de Papeles y Plásticos.
- IV. Control de Olores.

V. Control de Recuperadores.

VI. Control de Incendios.

12) Compactación y Cobertura.

Se debe diseñar la compactación y cobertura de los desechos sólidos del Botadero en saneamiento. La cobertura se la realizará usando un material impermeable que minimice la infiltración de aguas lluvias.

13) Diseño de la Celda Diaria.

Mientras se cierra el botadero de desechos sólidos y se lleven los desechos sólidos a este sitio, se debe diseñar una Celda Diaria.

14) Recuperación Edáfica.

Se deberá diseñar la recuperación edáfica la cual comprende básicamente el suavizar las pendientes, rellenar las oquedades, confinar y cubrir los desechos sólidos destapados. Se sembrará pasto o vegetación de raíz horizontal, para retener el suelo y protegerlo contra la erosión.

Se realizará un diseño paisajístico para entregar a la comunidad los terrenos ya recuperados y darle una utilización racional y acorde a las necesidades de la población.

15) Recursos Humanos y Equipos.

Se determinará los recursos humanos y equipos que se necesitarán para sanear el Botadero de Desechos Sólidos.

16) Vías de Acceso.

En el caso que un Botadero de Desechos Sólidos se quiera continuar utilizando como un Relleno Sanitario, se deberá diseñar un buen sistema de vías, que operen tanto en época seca como de lluvias.

17) Conversión a Relleno Sanitario.

Después de saneado el Botadero de Desechos Sólidos y si se desea utilizarlo como Relleno Sanitario, deberá observarse lo estipulado en la presente norma sobre lo establecido para Rellenos Sanitarios.

18) Costos.

Todos los diseños de las obras para el Saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos deberán incluir una evaluación económica la cual incluirá el análisis de precios unitarios.

19) Normas de Diseño.

Para el saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos se deberá utilizar las Normas de Diseño vigentes y la Autoridad competente elaborará las Normas de Diseño pertinentes que hagan falta para viabilizar lo establecido en estas normas sobre Saneamiento de Botaderos de Desechos Sólidos.

20) De la realización del saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos.

Para el saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos se tendrá que ejecutar lo establecido en esta normativa.

### **3.11. NORMAS GENERALES PARA LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS, EMPLEANDO LA TÉCNICA DEL RELLENO MANUAL**

a) Un relleno sanitario manual es un método simple de enterramiento sanitario de desechos sólido, bajo el mismo principio de relleno sanitario, pero con el empleo de mano de obra y herramientas simples.

b) En el relleno sanitario manual se podrán disponer, además de desechos sólidos no peligrosos, también desechos semi-sólidos no peligrosos.

c) Para detalles específicos relacionados con el diseño de rellenos sanitarios manuales, así como los lineamientos a seguir para la disposición de los desechos sólidos en el relleno sanitario manual se deberán utilizar las Normas de Diseño para la Elaboración de Proyectos de Sistemas de Aseo Urbano que emitirá el Ministerio del Ambiente.

### **3.12. NORMAS GENERALES PARA LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS, EMPLEANDO LA TÉCNICA DEL RELLENO MECANIZADO**

a) Los municipios deben expedir las regulaciones técnicas necesarias para el manejo y disposición sanitaria de los desechos sólidos no peligrosas en el relleno sanitario.

Para el efecto los municipios deberán presentar obligatoriamente a la Entidad de Control un Estudio de Impacto Ambiental.

b) Todo sitio para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio de recolección de desechos sólidos deberá cumplir como mínimo, con los siguientes requisitos para rellenos sanitarios mecanizados:

- 1) El relleno sanitario debe ubicarse a una distancia no menor de 13 Km. de los límites de un aeropuerto o pista de aterrizaje.
- 2) No debe ubicarse en zonas donde se ocasione daños a los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas, fuentes termales o medicinales), a la flora, fauna, zonas agrícolas ni a otros elementos del paisaje natural. Tampoco se deben escoger áreas donde se afecten bienes culturales (monumentos históricos, ruinas arqueológicas, etc.).
- 3) El relleno sanitario deberá estar ubicado a una distancia mínima de 200 m de la fuente superficial más próxima.
- 4) Para la ubicación del relleno no deben escogerse zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, cauces de quebradas, zonas propensas a deslaves, a agrietamientos, desprendimientos, inundaciones, etc., que pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno.

- 5) El relleno sanitario no debe ubicarse en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. La distancia del relleno a las viviendas más cercanas no podrá ser menor de 500 m. Tampoco se deben utilizar áreas previstas para proyectos de desarrollo regional o nacional (hidroeléctricas, aeropuertos, represas, etc.).
- 6) El relleno sanitario debe estar cerca de vías de fácil acceso para las unidades de recolección y transporte de los desechos sólidos.
- 7) El lugar seleccionado para el relleno sanitario debe contar con suficiente material de cobertura, de fácil extracción.
- 8) La permeabilidad de los suelos deberá ser igual o menor que  $1 \times 10^{-7}$  [cm/seg]; si es mayor se deberá usar otras alternativas impermeabilizantes.
- 9) Se deberá estimar un tiempo de vida útil del relleno sanitario de por lo menos 10 años.
- 10) El relleno sanitario deberá poseer: cerramiento adecuado, rótulos y avisos que lo identifiquen en cuanto a las actividades que en él se desarrollan, como entrada y salida de vehículos, horarios de operación o funcionamiento, medidas de

prevención para casos de accidentes y emergencias, además se deben indicar la prohibición de acceso a personas distintas a las comprometidas en las actividades que allí se realicen.

- 11) El relleno sanitario debe contar con los servicios mínimos de: suministro de agua, energía eléctrica, línea telefónica, sistema de drenaje para evacuación de sus desechos líquidos, de acuerdo con la complejidad de las actividades realizadas.
- 12) El relleno sanitario debe contar con programas y sistemas para prevención y control de accidentes e incendios, como también para atención de primeros auxilios y cumplir con las disposiciones reglamentarias que en materia de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial establezca el Ministerio de Salud Pública y demás organismos competentes.
- 13) El relleno sanitario debe contar con servicios higiénicos apropiados para uso del personal.
- 14) Se debe mantener un registro diario, disponible para la Entidad Ambiental de Control, en lo relacionado con cantidad, volúmenes y peso de desechos sólidos. El análisis de la composición física y química de los desechos sólidos se realizará anualmente.

- 15) Debe mantenerse en el relleno sanitario las condiciones necesarias para evitar la proliferación de vectores y otros animales que afecten la salud humana o la estética del entorno.
- 16) Se debe ejercer el control sobre el esparcimiento de los desechos sólidos, partículas, polvo y otros materiales que por acción del viento puedan ser transportados a los alrededores del sitio de disposición final.
- 17) Se debe controlar mediante la caracterización y tratamiento adecuado los líquidos percolados que se originen por descomposición de los desechos sólidos y que pueden llegar a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.
- 18) Los desechos sólidos no peligrosos deben ser colocados y cubiertos adecuadamente.
- 19) Para la captación y evacuación de los gases generados al interior del relleno sanitario se deben diseñar chimeneas de material granular, las mismas que se conformarán verticalmente elevándose a medida que avanza el relleno.
- 20) Todo relleno sanitario debe disponer de una cuneta o canal perimetral que intercepte y desvíe fuera del mismo las aguas lluvias.

21) Durante la operación del relleno sanitario, los desechos sólidos deben ser esparcidos y compactados simultáneamente en capas que no excedan de una profundidad de 0,60 mt.

22) Todas las operaciones y trabajos que demande un relleno sanitario deben ser dirigidos por una persona especialmente adiestrada para este efecto, debiendo estar su planteamiento y vigilancia a cargo de un ingeniero sanitario.

23) El relleno sanitario en operación debe ser inspeccionado regularmente por la entidad ambiental de control correspondiente, dictándose las medidas que se crea adecuadas para corregir cualquier defecto que se compruebe en las técnicas con las que se opera en el relleno sanitario.

c) Cuando se utilice la técnica de disposición final de desechos sólidos mediante relleno sanitario, el interesado deberá presentar a la entidad ambiental de control, para su aprobación por lo menos los siguientes requisitos:

1) Memoria descriptiva

La memoria descriptiva constituye el resumen general del proyecto y contendrá como mínimo los siguientes aspectos:

- I. Concepción y justificación del proyecto.
- II. Descripción del lugar seleccionado.
- III. Descripción de los elementos básicos del proyecto (áreas de disposición, material de cobertura, forma de operación, drenajes, instalaciones, etc.).
- IV. Información sobre los desecho sólidos a ser dispuestos (cantidad, composición, densidad, etc.).
- V. Plan de operaciones (acceso, cerco perimetral, preparación del lugar, transporte y disposición final de los desecho sólidos, sistemas de tratamiento, control de aguas, etc.).
- VI. Medidas de seguridad y Plan de contingencias.
- VII. Evaluación de impacto ambiental.
- VIII. Información acerca de la infraestructura periférica.
- IX. Información acerca de la infraestructura del relleno.

- X. Estudios sanitarios, de vías, de estabilidad de taludes, geológicos, geotécnicos, de suelos, hidrogeológicos, hidrológicos e hidráulicos del sector.
- XI. Estudios de construcción del relleno, construcciones auxiliares y de construcción de lotes especiales.
- XII. Del control del tratamiento de efluentes líquidos y gaseosos del relleno.
- XIII. De las condiciones paisajísticas.
- XIV. Plan de inversiones y costos.
- XV. Plan de mantenimiento del relleno.
- XVI. Plan de clausura y Pos clausura.
- XVII. Uso futuro del área.
- XVIII. Otros.

## 2) Diseño y especificaciones técnicas

Los diseños y especificaciones técnicas deben contener por lo menos:

- I. Localización y topografía.
- II. Cortes generales y de construcción.

- III. Construcciones auxiliares.
- IV. Instalaciones.
- V. Sistemas de drenaje de aguas superficiales, drenaje de gases, y drenaje de lixiviados.
- VI. Tratamiento de efluentes líquidos y gaseosos.
- VII. Información general, acerca de: Vías de acceso, taludes, distribución del área de relleno, impermeabilización de la base del relleno, cobertura.

d) Equipamiento.

Se debe especificar el equipo y maquinaria pesada necesarios para la habilitación, operación y clausura del relleno sanitario, compatibles con la cantidad de desecho sólidos a disponerse.

e) Cronograma de ejecución.

El cronograma se presentará en un diagrama de barras que deberá señalar las actividades principales para la habilitación, operación, clausura y pos-clausura del relleno sanitario, incluyendo las fechas y plazos previstos.

f) Costos y presupuestos.

Se deben presentar los análisis de costos unitarios de habilitación, operación, clausura, y pos clausura del relleno sanitario, los que incluirán la mano de obra, equipo y maquinaria pesada, herramientas, materiales, etc.

El costo de habilitación comprenderá aquellos en los que habrá que incurrir para iniciar las operaciones del relleno sanitario, tales como la limpieza y deforestación, movimiento de tierras, vía de acceso, drenajes, cerco perimetral, instalaciones auxiliares, cartel de identificación, etc.

El costo de operación incluirá los costos necesarios para efectuar la disposición de los desecho sólidos, tales como descarga, esparcido, compactación, cobertura, drenaje de gases, y lixiviados, tratamientos, etc.

El costo de clausura incluirá los costos de las actividades previstas una vez concluida la operación del relleno sanitario hasta lograr su integración al paisaje circundante y su aprovechamiento para fines recreativos u otros, tales como cobertura final, arborización, etc.

El costo de pos clausura comprenderá los costos de mantenimiento de la cobertura final, los sistemas de captación y tratamiento de gases y lixiviados u otros sistemas, así como los costos necesarios para efectuar el control de la contaminación ambiental y eventuales trabajos de saneamiento.

g) Anexos.

Los anexos deberán contar con el informe de selección del lugar, estudio geológico, hidrológico y geotécnico, memoria de cálculo, planos y demás documentos de detalle que complementen el estudio.

h) De las operaciones ejecutadas en el relleno sanitario

La operación del relleno sanitario se refiere a las actividades necesarias para la disposición final de los desechos sólidos, los que se deben llevar a cabo con personal profesional, técnico y obrero calificado, así como con equipo y maquinaria pesada adecuada. Las operaciones desarrolladas en el relleno deben considerar:

- 1) Control y registro del ingreso de desechos sólidos no peligrosos.
- 2) Se deben establecer procedimientos para excluir la presencia de desechos peligrosos en el relleno sanitario
- 3) Controlar que la disposición de los lodos industriales no peligrosos, esté autorizada previamente por la entidad de aseo.
- 4) Se deben establecer procedimientos para la descarga de los desechos sólidos en el relleno sanitario.
- 5) Se deben establecer técnicas o procedimientos adecuados para el esparcido, compactación y cobertura de los desechos.
- 6) Se deben controlar los gases y lixiviados generados en el relleno, así como las aguas lluvias.
- 7) Se deberá evitar la contaminación de aguas subterráneas y de aguas superficiales, y se realizarán controles periódicos en el relleno sanitario.
- 8) Se deberá controlar vectores y roedores.
- 9) Se deberá controlar la presencia de gases explosivos en el relleno sanitario.

- 10) Se debe prohibir la quema de desecho sólidos en el área y alrededores del relleno sanitario.
  - 11) Se debe restringir el ingreso de desechos líquidos al relleno sanitario.
  - 12) Se debe controlar la segregación.
  - 13) Se deben implementar medidas de seguridad y plan de contingencias.
  - 14) Se deberán establecer acciones correctivas.
- 
- i) La entidad de aseo debe ser responsable de ejercer el control y vigilancia de las condiciones que puedan originar efectos nocivos a la salud humana o al medio ambiente.
  - j) Los sitios destinados para la disposición final de desechos sólidos del servicio ordinario, podrán tener usos posteriores previa autorización de la entidad ambiental de control, cuya expedición deberá fundamentarse en un informe técnico del municipio local.

k) Se deben realizar periódicamente monitoreos de la calidad de las aguas subterráneas, por lo menos dos veces al año, para verificar la calidad de las mismas y comprobar que las actividades operacionales en el relleno sanitario se desarrollan correctamente, previniendo así cualquier posible contaminación del entorno. Los monitoreos deben ser realizados por el personal técnico que se encuentre a cargo de la realización de los análisis respectivos en el relleno sanitario y serán reportados al municipio.

l) Para la determinación de las características de las aguas subterráneas, se debe escoger un punto de control, ubicado como máximo a 150 mt del relleno, siempre que no exceda los límites del mismo, en caso contrario el punto de control deberá ubicarse dentro de los límites del relleno sanitario. Los niveles máximos de contaminantes básicos en el punto de control a considerar se muestran en la **Tabla# 6**:

<b>Sustancia química</b>	<b>Límite máximo permitido (mg/l)</b>
Arsénico	0.05
Bario	1.0
Benceno	0.005
Cadmio	0.01
Cloruro de vinilo	0.002
Cromo hexavalente	0.05
2,4 diclorofenil acido acético	0.1
1,4 Diclorobenceno	0.075
1,2 Dicloroetano	0.005
1,1 Dicloroetileno	0.007
Endrin	0.0002
Fluoruros	4.0
Lindano	0.004
Mercurio	0.002
Metoxicloro	0.1
Nitratos	10.0
Plata	0.05
Plomo	0.05
Selenio	0.01
Tetracloruro de carbono	0.005
Toxafeno	0.005
1,1,1 Triclorometano	0.2
Tricloroetileno	0.005
2,4,5 Triclorofenil acido acético	0.01

**Tabla #6:** Niveles máximos permisibles de contaminantes básicos

### **3.13. NORMAS GENERALES PARA LA RECUPERACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS**

El re-uso y reciclaje de desechos sólidos tiene como objetivos fundamentales: la reducción de desechos sólidos y la recuperación de valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en el proceso primario de elaboración de productos.

a) La entidad de aseo deberá propiciar el re-uso y reciclaje de desechos sólidos no peligrosos, mediante campañas educativas dirigidas a la comunidad con el fin mencionado anteriormente.

b) Los municipios deberán realizar estudios que indiquen la factibilidad técnico-económica y ambiental de la implementación de un sistema de reciclaje.

c) La aplicación de técnicas de utilización de desechos sólidos, como el co-procesamiento, serán establecidas por el Ministerio del Ambiente, mediante normas técnicas.

d) Los municipios deberán estudiar la localización de posibles sitios o elementos de acopio de materiales reciclables como

vidrio, papel o plástico; además de plantear métodos paralelos para la separación en la fuente y la viabilidad técnica del estudio.

e) Todos los empaques, envases y similares deben ser de materiales tales que permitan, posteriormente el uso o consumo del respectivo producto, su reciclaje, recuperación o re-uso o en su defecto, que sean biodegradables.

f) La recolección y almacenamiento temporal de elementos recuperables podrá efectuarse en bodegas, antes de su traslado al sitio de clasificación y empaque, siempre y cuando se observen condiciones sanitarias y de protección del medio ambiente.

g) La ubicación de bodegas, centros de recolección y plantas de recuperación de desechos sólidos deberá hacerse de acuerdo con las normas de planeación urbana vigentes.

h) Para la instalación y funcionamiento de bodegas y plantas de recuperación de desechos sólidos, se requerirá la autorización de la Entidad Ambiental de Control, previo informe técnico del

municipio local, de acuerdo a lo contemplado en esta Norma y en coordinación con la entidad de aseo.

i) La operación de bodegas y de planta de recuperación de desechos sólidos deberá desarrollarse bajo las siguientes condiciones:

- 1) Cumplir con las disposiciones de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial, control de contaminación del aire, agua y suelo, expedidas para el efecto.
- 2) Mantener las instalaciones de fachada y acera limpias de todo desecho sólido.
- 3) Asegurar aislamiento con el exterior, para evitar problemas de estética, proliferación de vectores y olores molestos.
- 4) Realizar operaciones de carga y descarga y manejo de materiales recuperables, en el interior de sus instalaciones.
- 5) Desinfectar y desodorizar con la frecuencia que garantice condiciones sanitarias.

j) Sólo se realizará la separación de los desechos sólidos en las fuentes de origen y en los sitios autorizados expresamente por la Entidad Ambiental de Control, previo al informe técnico del municipio local en coordinación con la entidad de aseo.

k) No se consideran como plantas de recuperación a las plantas industriales que utilicen como materia prima desechos sólidos reciclables y las que empleen desechos sólidos reutilizables.

### **3.14. OPERACIONES ESTÁNDAR PARA SISTEMAS DE CONTROL Y RECOLECCIÓN DEL GRS**

Cada dueño u operador debe cumplir ciertas especificaciones, a continuación se detallan:

a) Exista operación en el sistema de colección de forma que el gas es recolectado en cada área del GRS, los cuales han sido ubicados por:

- 1) 5 años ó más si es activo; ó
- 2) 2 años ó más si está cerrado.

b) Exista operación en el sistema de colección con presencia de presión negativa en cada boca de pozo exceptuando las siguientes condiciones:

- 1) Fuego o incremento en la temperatura. El propietario o el operador grabarán los ejemplos cuando ocurra presiones positivas para evitar fuego, estos registros serán presentados con los informes anuales.
- 2) Uso de tapas sintéticas. El propietario o el operador contraerán los límites de presión aceptables en el plan de diseño.
- 3) Un pozo cerrado. Un pozo después de cerrado puede experimentar una presión estática positiva para acomodar los flujos por descender. Todo cambio en el diseño será aprobado por el administrador.

c) Exista operación en el interior de cada boca de pozo del sistema de colección con una temperatura menor a 55°C del gas del Relleno Sanitario y con nivel de nitrógeno menor al 20% ó un nivel de oxígeno menor al 5%. El propietario o el operador pueden establecer una alta temperatura de operación, nitrógeno, o el valor de oxígeno en un pozo especial. Una demostración de valor

operativa más alto mostrará que soportar los datos de parámetro elevados no causan disparo o impide la descomposición anaeróbica significativamente acabando con la metano génesis.

d) Exista operación en el sistema de recolección del biogás con el propósito de que la concentración de metano no está por menos de 500 ppm encima del fondo en la superficie del Relleno Sanitario. Para determinar si este nivel es excedido, el propietario o el operador dirigirán la prueba de superficie alrededor del perímetro del área de colección y a lo largo de un modelo que recorre el Relleno Sanitario a intervalos de 30 mt. y donde las observaciones visuales demuestran concentraciones elevadas del gas de vertedero de basura, como vegetación angustiada y rajaduras o rezumadero en la tapa. El propietario o el operador pueden establecer un modelo de recorrido alternativo que asegura la cobertura equivalente. Un plan de diseño de observación de superficie debe ser desarrollado de modo que incluya un mapa topográfico con la ruta de observación y la razón fundamental para cualquier de las desviaciones del sitio específico a partir de los intervalos de 30 mt. Las áreas con las inclinaciones bruscas u otras áreas peligrosas pueden ser excluidas de la prueba de superficie.

e) En caso de que la colección o el método de control son inoperables, el sistema de gas conductor será cerrado, y todas válvulas en la recolección y sistema de control que colaborarán en ventilar al gas a la atmósfera deberán ser cerrados dentro de 1 hora; y

f) Exista operación en el control o el sistema de trato siempre cuando el gas recolectado es encaminado al sistema.

### **3.15. NORMAS GENERALES PARA EL MONITOREO DE LAS OPERACIONES**

a) Cada propietario u operador busca obedecer en un sistema de recolección de gas activa , para tal se deberá instalar un puerto de muestra y un termómetro u otro dispositivo de medir temperatura, ó un puerto de acceso para las mediciones de temperatura en cada boca de pozo, y

1) Medir mensualmente la presión indicada en el encabezamiento de colección de gas;

2) Monitorear la concentración de nitrógeno u oxígeno en el gas de vertedero de basura mensualmente.

3) Monitorear la temperatura del gas de vertedero de basura mensualmente.

b) Cada propietario u operador obedecerá usando una cámara de combustión deberá: calibrar, mantener, y operar de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

c) Cada propietario u operador proveerá la información satisfactoria al administrador describiendo la operación del dispositivo de control, los parámetros operativos que podría demostrar el rendimiento correcto, y los procedimientos de observación apropiados. El administrador examinará la información y aprobará, o pedirá que la información adicional sea presentada. El administrador puede especificar procedimientos de observación apropiados adicionales.

d) Cualquier vertedero de basura cerrado que no tiene excedentes monitoreados de las operaciones estándar dentro de tres puntos de observación trimestrales consecutivos puede saltarse a la observación anual. Cualquier lectura de metano de 500 ppm o

más arriba detectados para ese vertedero de basura se regresaría frecuentemente a los observaciones trimestrales.

### **3.15.1. NORMAS GENERALES APLICADAS EN EL CAMPO DE RECOLECCION DEL GRS**

a) Con un buen diseño, construcción y operación, el sistema de recuperación de GRS puede recolectar 75% o más de GRS producido.

b) El Campo de Recolección del GRS debe adaptarse a la variación en la tasa de generación de GRS sin salir de sus rangos establecidos, las variaciones pueden adeudarse debido a: las condiciones meteorológicas, el asentamiento diferencial, las eficiencias de los equipos, y las condiciones de coberturas de las mismas.

c) Es de importancia entender que: la operación que desempeña un canal o pozo se basa únicamente en la calidad del gas y no en sus tasas de recuperación; además, si al existir una entrada de aire, esta producirá un impacto negativo

en la biodegradación de los elementos que conforman el relleno sanitario.

d) Los ajustes periódicos como: monitorear y calibrar, permitirán a lo largo de la operación, incrementar o reducir el flujo de GRS por medio de las válvulas del sistema.

Los parámetros a monitorear en cada uno de los puntos de recolección (cabezales de pozos y canales) son los siguientes:

- 1) Succión;
- 2) Presión diferencial;
- 3) Temperatura;
- 4) Composición del GRS (contenido de CH<sub>4</sub> y O<sub>2</sub>); y
- 5) Posición de la válvula.

e) Se debe tener en cuenta, que el diseño del sistema de recolección del GRS en un sitio activo debe permitir progresivas expansiones para acomodarse al incremento en la generación. No obstante, el ajuste de las válvulas se debe hacer con base en la revisión de los datos históricos de

desempeño y dentro del contexto de la operación del campo en conjunto. A continuación se detalla en la **Tabla# 7**, posibles problemas y soluciones que se presentan en la operación de instalaciones de recolección y utilización del GRS.

Diagnostico	Resultados Potenciales	Soluciones recomendadas
O <sub>2</sub> > 2% v/v	• Dilución del combustible del GRS lo cual reduce la recuperación de energía.	• Ajustar y calibrar válvulas con base en la calidad del gas.
	• Incremento de las tasas de asentamiento diferencial.	• Chequear señales de asentamiento diferencial en el cabezal del pozo.
	• Temperaturas sub-superficiales altas.	
	• Problemas de olores.	
	• Incendios en el relleno.	
CH <sub>4</sub> < 45 % v/v	• Los mismos anteriores.	• Ajustar y calibrar válvulas con base en la calidad del gas.
		• Chequear indicaciones de asentamiento diferencial en el cabezal del pozo.
CH <sub>4</sub> > 55 % v/v	• Incremento del contenido de energía por unidad de GRS recuperado.	• Ajustar y calibrar válvulas con base en la calidad del gas.
	• Problemas de olores.	• Si cantidad y calidad del gas indican que hay más gas en el área, agregar pozos al sistema.
	• Stress en la vegetación.	
	• Incremento de emisiones y migración.	
Succión > 20 " WC con tasas de flujo relativamente altas	• Potencial entrada de aire.	• Si la cantidad y calidad del gas indican que hay más gas en el área, agregar pozos al sistema.
	• Incremento en las tasas de asentamiento diferencial.	• Ajustar válvulas y re-nivelar con base en la calidad del gas.
	• Incendios en el relleno.	
	• Problemas de olores.	
Succión < 10 " WC con tasas de flujo relativamente bajas	• Obstrucción/rotura de la tubería de extracción.	• Chequear señales de asentamiento diferencial en el cabezal del pozo.
	de extracción	
	• Problemas de condensados.	• Identificar y arreglar

	• Problemas de olores.	tuberías bloqueadas.
	• Stress de la vegetación.	
	• Incremento de migración de emisiones.	

**Tabla #7:** Asuntos y soluciones de recuperación del GRS

### 3.15.2. NORMAS Y FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECCIÓN DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

a) Para la conversión en energía eléctrica a partir del GRS, la eficiencia varía conjuntamente con la tecnología a ser aplicada. Esta eficiencia determinada en términos de “tasa de calor” neta de la planta es igual al valor de energía total en el GRS recolectado dividido por el valor de energía en la carga suministrada a la red; la potencia suministrada a la red es igual a la salida total del generador menos las pérdidas parasitarias en la planta.

Las pérdidas incluyen la energía consumida por los compresores de gas, las bombas de agua, las bombas de aceite lubricante, los ventiladores del radiador y del generador, el transformador de la estación, y otras estaciones auxiliares.

b) Otros puntos a ser citados y que son relevantes al momento de la viabilidad de GEGRS son: la disponibilidad; los costos de instalación, operación y mantenimiento; y las emisiones, todos los cuales son particulares para cada sitio específico.

En la **Tabla# 8** se visualiza, características estándar de algunas tecnologías:

<b>Tecnología</b>	<b>Rango Típico de flujo</b>	<b>Tamaño preferido de la Planta</b>	<b>Eficiencia de conversión eléctrica (neta a la red sin recuperación del calor del residuo)</b>
Micro turbinas	< 100 cfm	< 100 Kw	25 - 30 %
Motores de Combustión Interna	> 150 a 5000 cfm	0,5 a 12MW	32 - 40 %
Turbinas de gas	> 4000 a 20000 cfm	3 a 18 MW	26 - 32 %
Turbinas de vapor	> 6000 a > 25000 cfm	10 a 50 MW	24 - 29 %
Sistemas de Ciclo Combinado	> 5000 a > 25000 cfm	> 10 MW	38 - 45 %

**Tabla #8:** Tecnologías de Utilización de GRS y Rangos Típicos de Flujo/Potencia

### **3.16. ESTANDARES PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS QUIMICOS DEL RELLENO SANITARIO**

Los requisitos en cuanto a los desperdicios químicos de los vertederos de basura usados para el depósito de PCBs y artículos de PCB son a saber:

a) Tierra. El sitio de vertedero de basura estará ubicado en terrenos gruesos y relativamente impermeables como las grandes áreas de arcilla. Donde esto no es posible, la tierra tendrá un nivel de arcilla alta y el contenido de sedimento tendrá los siguientes características:

- 1) En su lugar el grosor de tierra será de 4 pies ó el grosor de revestimiento de tierra comprimido será de 3 pies;
- 2) Permeabilidad [cm/seg], igual o menor a  $1 \times 10^{-7}$
- 3) Porcentaje de terreno filtrado—cernido No.200 >30;
- 4) Limite del líquido >30;
- 5) Contenido de Plasticidad >15;

b) Revestimientos de membrana sintéticos. Revestimientos de membrana sintéticos serán usadas según el criterio del administrador regional, las condiciones geológicas en el vertedero de basura requieren tal revestimiento para suministrar por lo menos una permeabilidad equivalente a la tierra en párrafo (a) (1) de esta sección. Siempre que un revestimiento sintético sea usado en un sitio de vertedero de basura las precauciones especiales serán tomadas para asegurar que su integridad sea mantenida y que sea químicamente compatible con los PCBs. Suficiente terreno por debajo y revestimientos de tierra serán suministrados para prevenir la tensión excesiva y ruptura del revestimiento. El revestimiento debe tener un grosor mínimo de 30 milésimas de pulgada.

c) Condiciones de Hidrología. La parte inferior del vertedero de basura estará encima de las aguas subterránea. Terrenos inundables, riberas, y áreas de recarga de agua subterránea serán evitados. No habrá conexión hidráulica entre el sitio y el agua de superficie parada o fluyendo. El sitio tendrá pozos de observación y colección de lixiviado. La parte inferior del sistema de revestimiento de vertedero de basura o será al menos cincuenta pies de la capa freática alta histórica.

d) Protección contra inundaciones.

1) Si el sitio del vertedero de basura está por debajo de los 100 años de desbordes de agua, el operador suministrará zanjas de desvío de agua de superficie con una altura mínima o superior alrededor del perímetro del sitio de vertedero de basura a dos pies encima del ascenso de crecida 100-años.

2) Si el sitio de vertedero de basura está encima del ascenso de crecida 100 años, los operadores suministrarán las estructuras de desvío capaces de desviar toda el desborde de agua de la superficie de una tormenta 24-horas, 25-años.

e) Topografía. El sitio del vertedero de basura estará ubicado en una área que ayude a bajar o regular minimizando la erosión y previniendo las avalanchas o desplomos.

f) Monitoreo. Todos las observaciones de pozos serán cubiertos, y los espacios entre la zona de observación (zona de saturación), y la superficie serán rellenos totalmente y obstruido con cemento ó un material equivalente para prevenir eficazmente el filtrado del

agua de la superficie. Los pozos abiertos en la superficie podrán tener una capa removible para suministrar el acceso y prevenir la entrada de lluvias o temporales de agua. El pozo será bombeado para quitar el volumen de líquido inicialmente contenido en el pozo antes de obtener una muestra para el análisis. La descarga podrá ser tratada cubriendo los estándares de descarga Estatal o Federal aplicables al vertedero de basura para desperdicios químicos.

g) Análisis de agua. Como mínimo, todas las muestras serán analizadas por los siguientes parámetros:

- 1) PCBs
- 2) pH.
- 3) Conductancia específica.
- 4) Sustancias orgánicas cloradas.
- 5) Colección de lixiviado.

Un sistema de observación de colección de lixiviado será instalado encima del vertedero de basura para el desperdicio químico. Los sistemas de colección de lixiviado serán monitoreados mensualmente por cantidad y las características fisicoquímicas de

lixiviado producido. El lixiviado debe ser tratar a los límites aceptables para la baja de conformidad con un permiso estatal ó federal.

Desechos puestos en el vertedero de basura que no sean químicamente compatibles con los PCBs y artículos de PCB incluyendo disolventes orgánicos, serán separados de los PCBs durante todo el manejo de desperdicio y el proceso de traspaso.

h) Instalaciones de soporte. Una cerca de 6 pies en pared, malla, o dispositivo similar serán puesto alrededor del sitio para impedir la entrada a personas no autorizadas y animales.

i) Aprobación de vertederos de basura de desperdicios químicos. Antes del traspaso de cualquier PCBs y artículos de PCB en un vertedero de basura de desperdicios químicos, el propietario u operador del vertedero de basura recibirán la aprobación escrita del Administrador de la Agencia Regional en la que el vertedero de basura estará ubicado. La aprobación será obtenida en la siguiente forma:

1) Informe inicial. El propietario o el operador presentarán al Administrador de la Agencia Regional un inicial informe, el cual contenga:

- I. La ubicación del vertedero de basura;
- II. Una descripción detallada del vertedero de basura incluyendo los planes generales del sitio y los dibujos del diseño;
- III. Un informe de ingeniería que describa la manera para el tratamiento de los desperdicio químicos en el Relleno Sanitario especificados anteriormente;
- IV. Probar y monitorear el equipo e instalaciones disponibles;
- V. Esperar volúmenes de desperdicio de PCBs;
- VI. Las descripciones generales de materiales de desperdicios aparte de los PCBs.

2) Otra información. El Administrador de la Agencia Regional puede exigir al propietario u operador presentar cualquier otra información, donde el administrador regional encuentre necesariamente razonable determinar si un vertedero de basura de desperdicio químico debe estar acreditado.

3) Contenido de la aprobación. El Administrador de la Agencia Regional no puede aprobar un vertedero de basura de desperdicios químicos para el traspaso de PCBs y artículos de PCB, a menos que descubre que el vertedero de basura no cubre todos los requisitos del párrafo (f) de esta sección.

El Administrador de la Agencia Regional puede incluir cualquier otro requisito en una aprobación, de modo que encuentre necesario asegurar la operación del vertedero de basura de desperdicios químicos por lo cual no constituya un riesgo para la salud. Tales provisiones podrían incluir un período de tiempo fijo para que la aprobación sea legítima.

La aprobación también podría incluir una condición de que el operador del vertedero de basura de desperdicios químicos informe al Administrador de la Agencia Regional cualquier ejemplo cuando los PCBs son detectables durante las actividades de observación dirigidas de conformidad con el párrafo (f).

4) Exenciones o aplazo. Un propietario u operador de un vertedero de basura de desperdicios químicos puede presentar pruebas al Administrador de la Agencia Regional de que la operación del vertedero de basura no constituirá un riesgo

irrazonable para la salud cuando uno o más de los requisitos mencionados en esta sección no sean conocidos. La conclusión y la exención bajo este párrafo serán dichas por escrito e incluidas como parte de la aprobación.

- 5) Personal aprobado. Cualquier aprobación, designará a las personas quienes estén autorizadas para que operen el vertedero de basura de desperdicios químicos, y será aplicable solamente a tales personas.
- 6) Aprobación final. La aprobación de un vertedero de basura de desperdicios químicos será por escrito y será firmado por el Administrador de la Agencia Regional. La aprobación expresará todos los requisitos aplicables al vertedero de basura acreditado.
- 7) Transferencia de propiedad. Cualquier persona que reconoce u opera en un vertedero de basura de desperdicios químicos acreditado debe notificar al Organismo de Protección Ambiental (EPA) al menos 30 días antes de transferir la propiedad ó transferir el derecho de dirigir la operación del vertedero de basura de desperdicios químicos. La transferencia también debe acceder el Organismo de Protección Ambiental, al menos 30 días antes de tal transferencia, una declaración jurada

autenticada firmada por el beneficiario, expresando que el beneficiario cumplirá con la aprobación de vertedero de basura de desperdicios químicos. Dentro de 30 días de recibir tal notificación y declaración jurada, el Organismo de Protección Ambiental hará público la aprobación corregida sustituyendo el nombre del beneficiario por el nombre de la transferencia, u Organismo de Protección Ambiental que pueda exigir al beneficiario solicitar una nueva aprobación de vertedero de basura de desperdicios químicos. El beneficiario debe cumplir con la aprobación del Organismo de Protección Ambiental de la transferencia hasta que el Organismo de Protección Ambiental haga público la nueva aprobación al beneficiario.

### **3.17. REQUERIMIENTO DE MATERIALES DE CUBIERTA PARA LA APLICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO**

- a) Los propietarios o los operadores deberán cubrir los desechos sólidos con seis pulgadas de material de barro al final de cada día operativo, o en más intervalos si es necesario, de modo que permita controlar los vectores de enfermedad, fuegos, los olores y la reducción misma de la basura.

b) Los materiales alternativos de un grosor de al menos seis pulgadas de material de barro pueden ser aprobados por el director de un estado federal acreditado si el propietario u operador demuestran que el material alternativo y el grosor controlan los vectores de enfermedad, fuegos, olores, y la reducción misma de la basura sin presentar una amenaza para la salud humana y para el ambiente.

c) En presencia de condiciones climáticas estacionales extremistas, el director de un estado federal acreditado puede consentir una excepción de los artículos **a)** y **b)** del **capítulo 2.18**.

d) Existen dos clases de materiales para la cubierta de rellenos sanitarios, ellos son: materiales autóctonos y materiales comercialmente disponibles. Los materiales autóctonos son aquellos materiales que se disponen como la basura; por tanto, el uso de este material posee un uso eficiente en cuanto al espacio del vertedero de basura; por su parte los materiales más comunes de cubierta comercialmente disponibles están:

1) Espuma, que es rociada sobre la cara activa al final del día  
generalmente

- 2) Productos de geo-sintéticas, como una lona o paño de tela que son colocados al final de paneles de tela que son aplicados al final de empezar el siguiente día de trabajo;
- 3) Productos de lechada (madera reciclada, lechada de arcilla, etc.).

### **3.18. CONTROL DE GASES EXPLOSIVOS**

a) Los dueños u operadores de Rellenos Sanitarios deben asegurarse que:

- 1) La concentración del gas metano generado por la instalación no exceda el 25% de el limite explosivo inferior para estructuras de instalación de metano (excepto el control de gas o los componentes de sistema de recuperación); y
- 2) La concentración del gas de metano no debe superar el límite explosivo inferior para metano en el límite de propiedad de la instalación.

b) Se deber implementar un programa de observación de metano, la mínima frecuencia de observación será trimestral.

c) El tipo y frecuencia de monitoreo está determinada por los siguientes factores:

- 1) Condiciones de tierra;
- 2) Las condiciones del contorno hidrogeológicas de la instalación;
- 3) Las condiciones del contorno hidráulicas de la instalación; y
- 4) La ubicación de las estructuras de la instalación y los límites de propiedad.

d) En caso de no cumplirse el artículo **a)** del **capítulo 2.19**, se realizara lo siguiente:

- 1) Dentro de siete días de detección, se situara un registro operativo detectando el nivel de gas metano y una descripción de los pasos tomados para proteger la salud humana; y
- 2) Dentro de 60 días de detección se implementara un plan de solución para la propagación de gas metano, colocando una copia del registro operativo, y notificando al director de Estado Federal que el plan ha sido implementado. El plan describirá la naturaleza y la extensión del problema y la solución propuesta.

- e) El metano es explosivo cuando presenta un rango de 5% a 15 % junto al volumen del aire. Cuando presenta en el aire las concentraciones más grandes que 15%, la mezcla no estallará. Este umbral del 15 % es el límite superior explosivo.

### **3.19. ACTIVACIÓN Y DESACTIVACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN RELLENO SANITARIO**

- a) Un sistema de control activo previene el desbordamiento en la parte activa del vertedero de basura durante la descarga máxima de una tormenta a partir de los 25 años en adelante;
- b) Desactivando el sistema de control en la parte activa del vertedero de basura permite recoger y controlar el volumen de agua que resulta de una tormenta 24 horas, a partir de los 25 años en adelante.

### **3.20. NORMAS DE RENDIMIENTO BASADO EN EL DISEÑO**

- a) Para un mejor rendimiento en expansiones laterales y nuevas unidades de Rellenos Sanitarios basadas en un buen diseño, se debe asegurar que los valores de concentración mostrados en la **Tabla# 9** no excedan dentro del acuífero en el punto más alto.

<b>Químicos</b>	<b>MCL (mg/l)</b>
Arsénico	0,05
Bario	1,00
Benceno	0,005
Cadmio	0,01
Tetracloruro de carbono	0,005
Cromo (hexavalente)	0,05
2,4 Acido acético <b>diclorophenoxy</b>	0,1
1,4 Di cloro benceno	0,075
1,2 Di cloro etano	0,005
1,1 Di cloro <b>ethylene</b>	0,007
Endrin	0,0002
Fluoruro	4,00
<b>Lindane</b>	0,004
Plomo	0,05
Mercurio	0,002
<b>Methoxychlor</b>	0,1
Nitrato	10
Selenio	0,01
Plata	0,05
<b>Toxaphene</b>	0,005
1,1,1 Tri cloro etano	0,2
Tri cloro <b>ethylene</b>	0,005
2,4,5 Acido acético tri cloro <b>phenoxy</b>	0,01
Cloruro de vinilo	0,002

**Tabla #9:** Valores máximos de concentración en los acuíferos

b) Si existe la aprobación mencionada en artículo **a)** del **capítulo 2.21**, el director del Estado Federal acreditado considerará por lo menos los siguientes factores:

- 1) Las características de hidrogeológicas de la instalación y el entorno de la región ;
- 2) Los factores climáticos de la zona; y
- 3) El volumen y las características físicas y químicas del lixiviado.

### **3.21. RESTRICCIONES DE LOS LÍQUIDOS**

a) Los desechos líquidos en grandes cantidades no pueden ser depositados en las unidades de Relleno Sanitario a menos que:

- 1) El desperdicio es desecho doméstico aparte del desperdicio séptico; o
- 2) El desperdicio es lixiviado o gas derivado de la unidad del Relleno Sanitario.

b) Recipientes que contengan desechos líquidos no pueden ser puestos en unidades de Relleno Sanitario a menos que:

- 1) Es un pequeño recipiente similar al tamaño al encontrado normalmente en los desechos domésticos;
- 2) El recipiente es diseñado para contener líquidos para su uso aparte del almacenamiento; o
- 3) El desperdicio es desecho domestico.

### **3.22. REVESTIMIENTO COMPUESTO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS**

- a) Con un revestimiento compuesto y sistema de recolección de lixiviados los cuales son diseñados y construidos para mantener a una profundidad menor de 30 cm de lixiviado sobre el revestimiento.
- b) El revestimiento compuesto representa un sistema que consta de dos componentes; el componente superior debe constar de un revestimiento de membrana flexible (FML) de 30 milésimas de pulgadas mínimas, y el componente inferior debe constar de por lo menos de unos dos pies de capa de tierra comprimida con una conductancia hidráulica no superior a  $1 \times 10^{-7}$  [cm/seg]. Componentes de FML que consten de polietileno de alta densidad (HDPE), aquellos deberán ser al menos de 60 milésimas de

pulgada de grosor, y ser instalado en contacto uniforme y directo con el componente de tierra comprimido.

c) El flujo inestable a través de los revestimientos de tierra es calculada por la Ley de Darcy, donde (Q) es la descarga proporcional por la capacidad perdida completamente por la tierra  $(dh/dl)$  dado un área de circulación seccional ( $A_s$ ) y una conductancia hidráulica ( $k_h$ ), a continuación se muestra la **ecuación #10**:

$$Q = K_h * A_s * \left( \frac{\partial h}{\partial l} \right)$$

d) Las ecuaciones de diseño e información para la mayoría de los tipos de tubo para recolección de lixiviados pueden ser obtenidos de los fabricantes.

e) La aplicación de tubos de drenaje perforados para recolección de lixiviados pueden proveer de: un buen rendimiento a largo plazo y transportación de fluidos rápidamente. La profundidad de la capa de drenaje alrededor del tubo debe ser más profunda que el diámetro del tubo. Los tubos pueden ser colocados en zanjas para:

suministrar una profundidad adicional y en casos extremos realizar la función de sumidero por la recolección de lixiviados. Además, aquellos tubos pueden ser propensos a la desviación. En el diseño de los tubos perforados de recolección se deben considerar los siguientes factores:

1) El flujo requerido;

2) Espaciado;

I. Puede ser determinado por el modelo Mound. En el modelo de Mound, la altura máxima de fluido entre dos tubos paralelos de drenaje perforados es como se detalla en la

**ecuación #11 :**

$$h_{m\acute{a}x} = \frac{L\sqrt{c_m}}{2} \left[ \frac{\tan^2 \alpha}{c_m} + 1 - \frac{\tan \alpha}{c_m} \sqrt{\tan^2 \alpha + c_m} \right]$$

L= distancia entre las tuberías.

$c_m$ = monto del lixiviado =  $q/k$ .

k= permeabilidad.

q= relación de afluencia.

$\alpha$ = inclinación.

Se sugiere que el valor de L adopte un valor máximo de 12 pulgadas.

- 3) El tamaño del tubo y la inclinación máxima; y
- 4) La fuerza estructural del tubo.

f) Para la protección de tubos de recolección de lixiviados depende de la sedimentación debido a materiales de drenaje granulares, el uso de materiales filtros correctivos favorecen a la protección.

g) El crecimiento bacterial y la presencia de algas en los tubos de recolección de lixiviados conformaría un problema de atascamiento biológico, por tal motivo deberá emplearse diseños que permitan la limpieza del tubo implicado. Estos componentes de diseño podrían ser:

- 1) Tubos de diámetro con un mínimo de seis pulgadas para la limpieza;
- 2) Optimo acceso ubicado en las intersecciones del tubo o en las curvas para las inspecciones y la limpieza; y

- 3) Presencia de válvulas o compuertas para facilitar la introducción de elementos de limpieza.

### **3.23. PROCESOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Para la lectura de esta sección tenemos que comprender los procesos de biodegradación de los residuos sólidos urbanos, en ellos comprende, básicamente la aerobia y la anaerobia, tales términos serán relacionados en este capítulo.

#### **3.23.1. PROCESO AEROBIO**

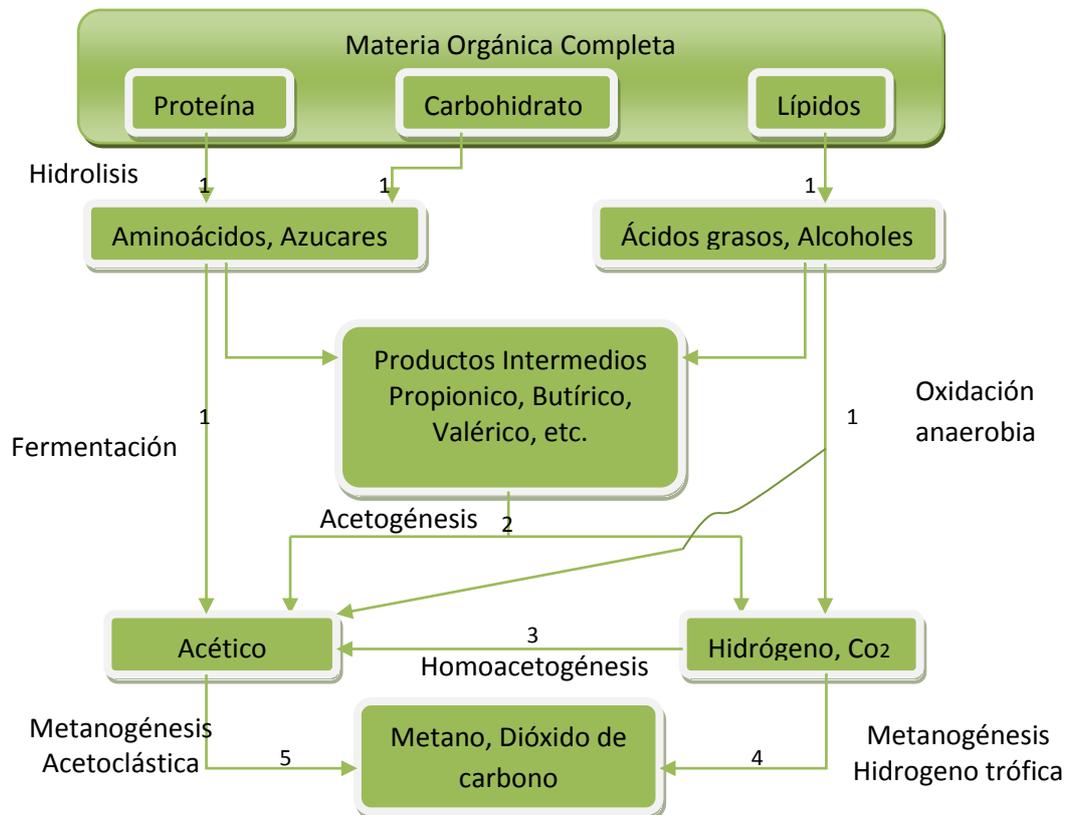
Es la fase inicial, comienza en el instante después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario y en la que las sustancia fácilmente biodegradable se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua, materia parcialmente descompuesta registrando temperaturas entre 35 y 40 °C.

### 3.23.2. PROCESO ANAEROBIO

Un proceso de digestión anaeróbica resulta de una serie de procesos metabólicos en ausencia de oxígeno molecular produciendo  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , elementalmente se necesita de un reactor completamente cerrado, donde exista la presencia de microorganismos.

Por tanto es un proceso biológico degradable, donde más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aerobio.

Tal proceso, se resume en la **figura #7**:



**Figura 7#** Proceso Anaerobio

La eficiencia depende en gran éxito de la temperatura y del nivel de pH.

Por consiguiente, a mayor temperatura las reacciones enzimáticas y el crecimiento son más rápidos; aunque hay que considerar que cada microorganismo debe situarse entre los

límites de temperatura mínimos y máximos para que no existan daños irreversibles.

En cuanto al nivel de pH, los microorganismos encargados de llevar a cabo la etapa acidogénica durante la metanogénesis pueden trabajar a pH mayores de 5, en cambio los metanogénicos tienen un rango de pH óptimo de 6.6- 8.0 soportando una tolerancia de  $\pm 0.3$ .

El pH dentro del reactor está en función de la producción de ácidos volátiles y de la alcalinidad presente. La cantidad de materia alimentada al reactor impacta de manera directa la producción de ácidos grasos volátiles, ya que la biodegradación de la materia orgánica tiende a disminuir el pH. Sin embargo, este efecto es contrarrestado por la degradación de los ácidos volátiles o agregando un amortiguador al sistema.

Según investigaciones, en la actualidad existen algunos reactores rentables, confiables y funcionales que permiten una óptima producción de biogás.

### 3.24. CLASES DE PRODUCCIÓN

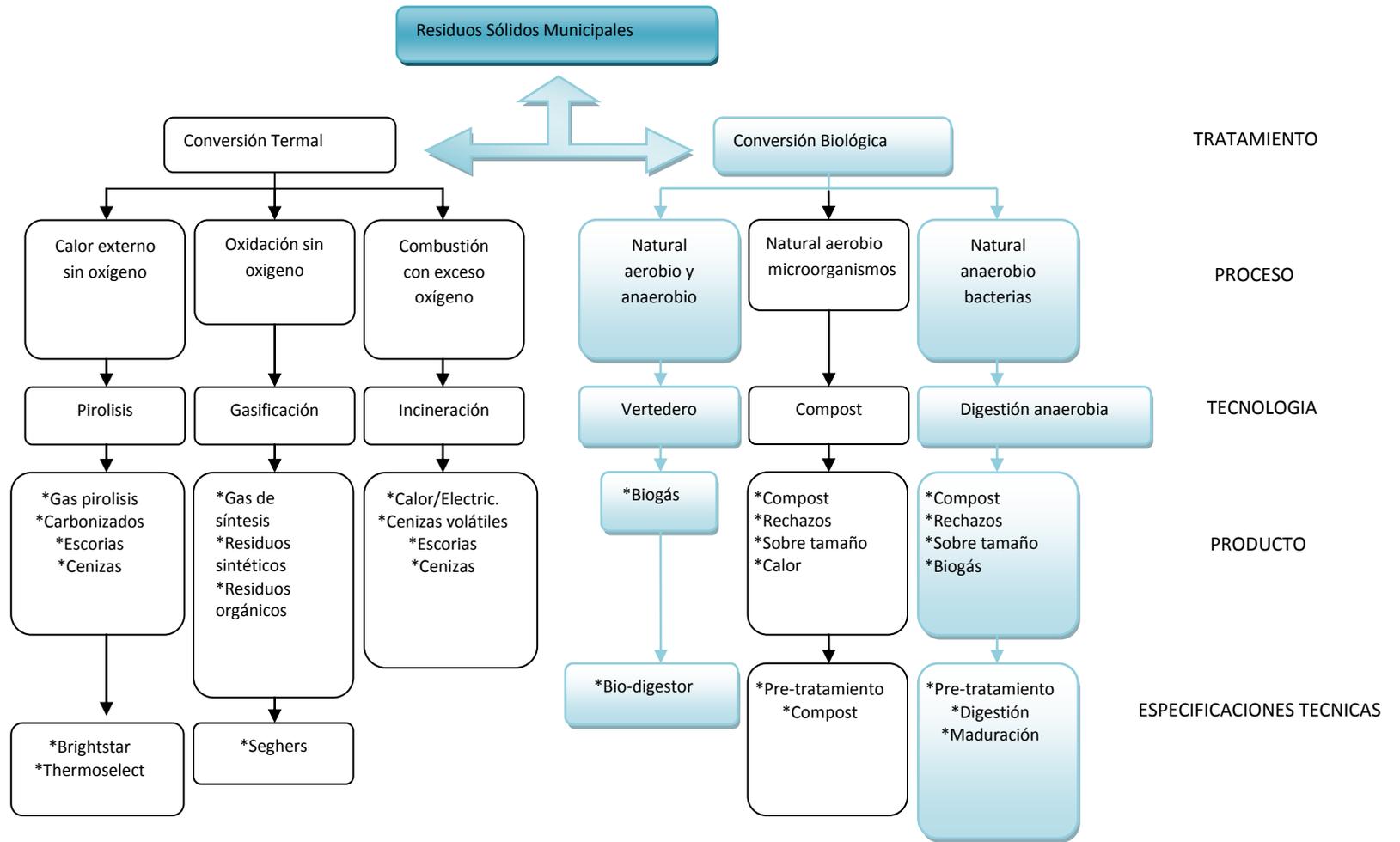
En nuestro estudio, en cuanto a procesos y tecnologías aplicadas en la producción de biogás nos basaremos en dos grupos, que se mencionan a continuación:

#### 1) *Plantas de bio-metanización o ArrowBio*

Aquella tecnología es la pionera en estos momentos, puesto que además de comprender el tratamiento de la basura a través de procesos mecanizados, nos brinda beneficios tales como: reducción de la basura aproximadamente en un 87%, generación de productos tales como energía eléctrica, biogás, compost y combustible para los vehículos; además utilizan procesos de digestión Anaerobia seca y Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

#### 2) *Sistema de recuperación de desperdicios*

En esta tecnología, se podría decir que fue una de las primeras en desarrollarse, y utiliza procesos de Digestión anaeróbica seca y aerobia, y el proceso Valorga.



**Figura #8:** Proceso de los Residuos Sólidos Municipales

### 3.24.1. PLANTA DE BIO-METANIZACIÓN O ARROWBIO

“Es conveniente contar con un sitio, que por lo general se llamará planta de tratamiento de los RSU, para la separación y procesamiento de los mismos antes de su disposición final.

La misma deberá encontrarse lo más cerca posible del sitio de disposición final de acuerdo con la disponibilidad de terreno para tal fin. Deberá contar con espacio suficiente para realizar las tareas de acuerdo con las cantidades y volúmenes de RSU a procesar.

En primera instancia, en dicha planta los RSU podrán ser separados y clasificados en orgánicos e inorgánicos.

El residuo orgánico se prepara para su posterior etapa de compostaje y su etapa de lombri-compuesto.

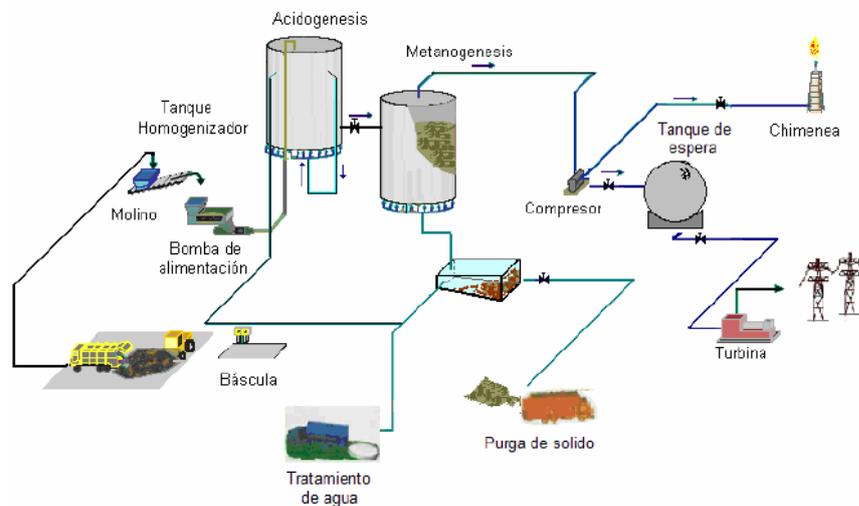
Al final del tratamiento se realizara la disposición final, es decir, la acción de depositar en forma permanente los RSU y las fracciones no recuperables de estos de los tratamientos adoptados, en un lugar determinado.

En este tipo de plantas se puede recuperar manualmente:

- Aluminio: aproximadamente 100% reciclable.

- Vidrio: aproximadamente 100% Reciclable.
- Cartón y papel: Puede ser reciclado hasta 7 u 8 veces.
- Plásticos: Para reciclarse deben estar perfectamente separados.
- Laminados Compuestos: Se procesan para separar sus compuestos.
- Acero: aproximadamente 100% Reciclable ”

### 3.24.1.1. COMPONENTES DEL SISTEMA



**Figura #9:** Componentes de la Planta de Biometanización

### **Bascula**

“En el primer paso, los camiones que transportan los residuos de los contenedores de resto se pesan al entrar en la planta. Posteriormente, descargan en los fosos de recepción. Dos grúas de pulpo alimentan las dos líneas de procesado existentes.”

### **Molino ó Criba**

“Cada pulper está asociado a un filtro o criba cilíndrica de doble malla, donde el resto de impurezas, como plásticos grandes o trozos de vidrio, son separadas a su paso por el filtro.”

### **Bomba de alimentación ó Pulper**

“Una cuchara carga el material del foso pulmón en cintas transportadoras que lo dirigen al pulper, en donde se le aplicará un tratamiento húmedo consistente en la mezcla con agua para desfibrar y disgregar la materia orgánica.

Aquí se realiza el pre tratamiento de filtrado de los residuos orgánicos, previo al proceso de bio-metanización. El 50% del peso de la fracción fina constituye el rechazo, siendo principalmente impropios que decantan en el fondo (piedras, metales, vidrio...) y que es limpiado automáticamente. “

### **Tanque homogenizador**

“Su función es homogeneizar el material para mejorar los procesos hidrolíticos. El producto se conduce por tuberías a los tanques de digestión o digestores.

La fermentación aerobia tiene lugar rápidamente gracias a los bacilos, lo que acelera muchísimo la producción de metano. Tras 1 día el proceso aerobio está concluido.”

### **Reactor Acidogénico y Metanogénico**

“Las distintas condiciones fisicoquímicas para llevar a cabo la digestión anaerobia y la fisiología de las bacterias involucradas en el proceso favorecen la posibilidad de trabajar con dos reactores en serie operando bajo

condiciones óptimas cada uno. Esto permite tener una mejor eficiencia; ya que el primer reactor operado a pH bajos y TRH corto efectúa la acidogénesis y el segundo reactor operado a altos pH y TRH largos favorecen la metanogénesis. Bajo estas condiciones se puede aumentar la carga máxima alimentada al sistema y se puede lograr una mejor estabilidad.”

### **Reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente (UASB)**

“Se utilizó un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket); el cuál opera con flujo ascendente, esto permite tener cierta selectividad sobre los microorganismos presentes favoreciendo la formación de un lodo con buenas propiedades de floculación y sedimentación dando como resultado una cama de lodos en la parte inferior del reactor. En la parte superior del reactor existe un sistema para la captación del biogás formado, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente, y favorece la evacuación del gas formado.

El efluente residual se introduce en la base del reactor y atraviesa el lecho de lodos; durante el trayecto la materia orgánica entra en contacto con los microorganismos y se efectúa la degradación de ésta produciéndose el biogás. Es análogo al reactores Acidogénico y Metanogénico”

### **Compresor**

Permite fluir el gas hacia la moto-generadora o turbina.

### **Tanque de espera**

Es el depósito de almacenamiento del biogás producido.

### **Turbina**

Permite realiza la conversión de la energía cinética en energía eléctrica.

### **Chimenea**

Su función es la de incinerar desechos en excesos.

**Sistema de tratamiento de agua**

Permitirá la re-circulación del agua como refrigerante para el sistema.

**Sistema de disposición final**

Es el lugar de almacenamiento para aquellos residuos que no son reutilizables, luego de haber realizado aquel proceso.

**Generador**

Conversión de la energía del metano en energía eléctrica.

**Subestación**

Distribución de la energía eléctrica por medio de alimentadores.

### 3.24.1.2. CONTROL

El proceso general de generación de energía a partir de basura biodegradable será:

1. Se separan manualmente el cartón y los residuos voluminosos, clasificándolos en recuperables y no recuperables.
2. La materia prima se reduce de tamaño mediante un molino o criba con el objetivo de encontrarse biodisponible en los reactores. En esta separación granulométrica se obtiene una fracción gruesa y otra fina, esta última constituida principalmente por residuos orgánicos.

Para la fracción gruesa existen los siguientes mecanismos de selección:

- Manual: se separan los materiales recuperables como PET (Polietileno tereftalato), PEAD (Polietileno de alta densidad), papel y briks.
- Aspiración neumática: se recupera el PEBD (Polietileno de baja densidad)
- Electroimanes: que separan los metales férricos.

3. A continuación se lleva hacia un tanque homogenizador, en éste se agrega agua y se bombea hacia el reactor Acidogénico.

4. En el reactor Acidogénico se lleva a cabo la hidrólisis y acidogénesis, se produce CO<sub>2</sub> como parte la primera etapa de la digestión anaerobia, este gas producido se recirculará y servirá para la agitación dentro del reactor.

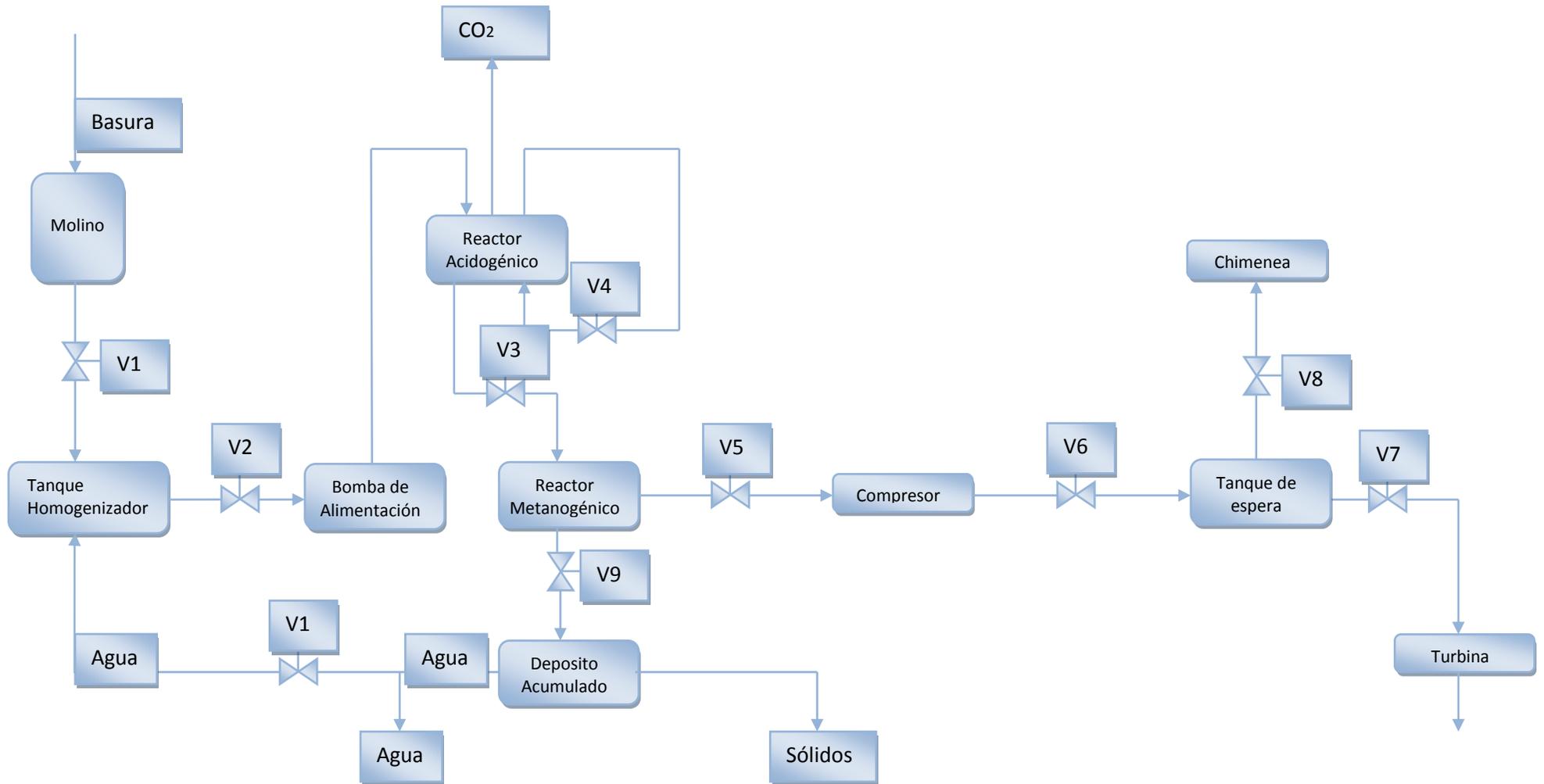
5. El efluente del reactor Acidogénico pasará por gravedad hacia el reactor Metanogénico, en este se llevará a cabo la acetogénesis y metanogénesis, en donde se obtendrá metano como producto principal. El reactor contará con un efluente que contiene sólidos no degradados y agua.

6. El metano producido se hará pasar por un compresor para su almacenamiento en un tanque

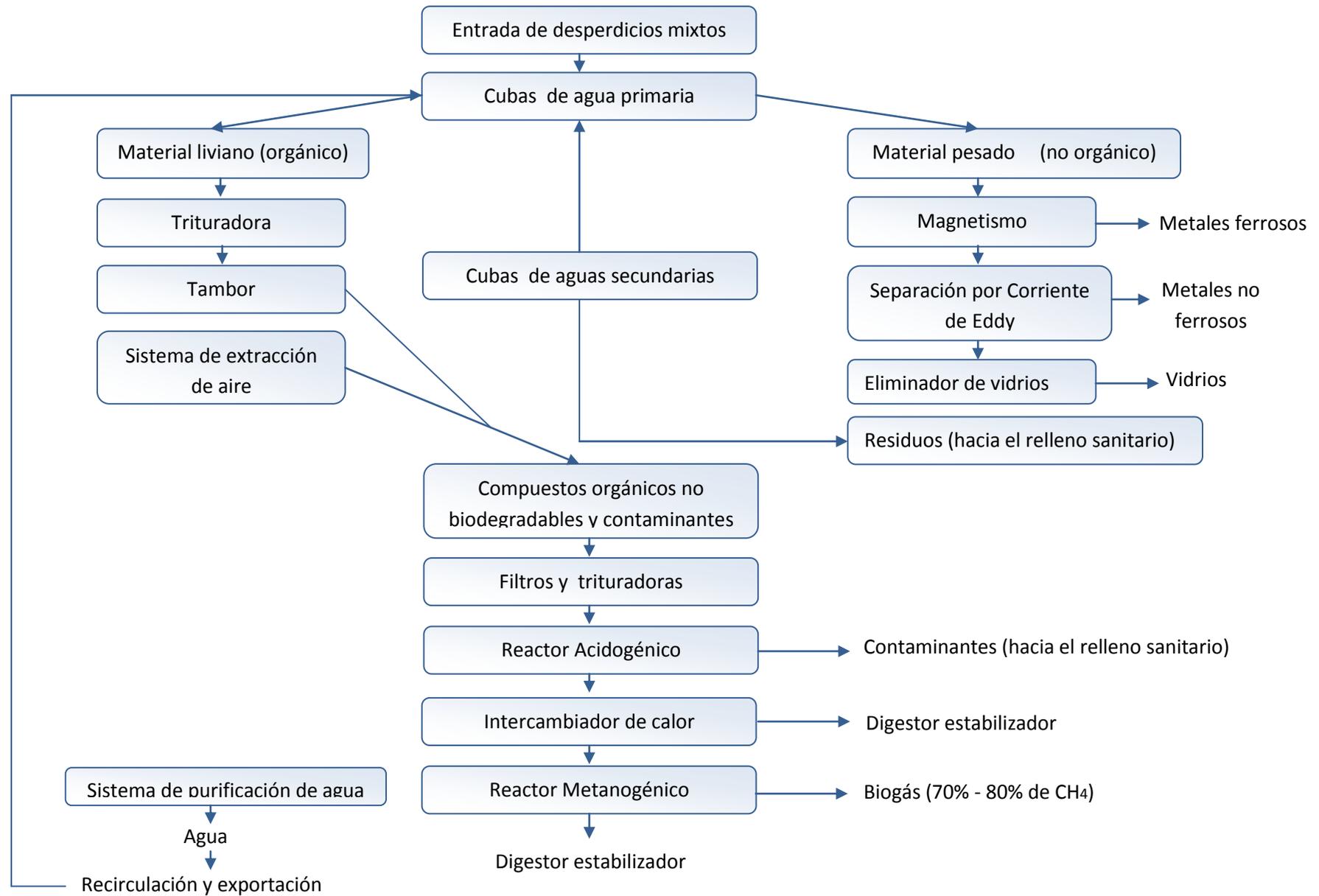
de espera, este será utilizado en la turbina para la generación de energía eléctrica.

7. El efluente del reactor Metanogénico se separa por gravedad, de este se obtendrá agua la cual será recirculada en el proceso y los desechos sólidos se enterrarán.

8. El proceso contará con una chimenea que tendrá la función de quemar los excesos de metano producido como medida de seguridad.



**Figura #10:** Proceso general de control de la Planta de Biometanización



**Figura #11:** Diagrama de flujo de un Arrobiow

### **3.24.2. SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE DESPERDICIOS**

#### **3.24.2.1. RELLENOS SANITARIOS**

Un relleno sanitario no reciclado es un lugar destinado a la disposición final de desechos o basura, básicamente a medida que se va colocando la basura, ésta es compactada con maquinaria y cubierta con una capa de tierra y otros materiales para posteriormente cubrirla con una capa de tierra y sobre esta depositar otra capa de basura y así sucesivamente hasta que el relleno sanitario se da por saturado.

Es un método de ingeniería para la disposición de residuos sólidos en el suelo de manera que se le dé protección al ambiente, mediante el esparcido de los residuos en pequeñas capas, compactándolos al menor volumen práctico y cubriéndolos con suelo al fin de día de trabajo, previniendo los efectos adversos en el medio ambiente.

Además, como forma de minimizar el impacto ambiental y como implementación del Protocolo de Kioto los rellenos sanitarios incluyen tratamiento de lixiviados, que

son los líquidos producidos por la basura, quema de gases de descomposición, principalmente el metano, planes de reforestación en el área del relleno sanitario y control de olores.

#### **3.24.2.1.1. COMPONENTES DEL SISTEMA**

Primeramente ingresan los camiones recolectores de basura que transportan los residuos de la ciudad y van dejando el desperdicio en las celdas para luego ser compactadas con una capa de tierra compuesta de distintos materiales, el proceso se repite varias veces hasta que la celda quede completamente llena en su totalidad.

Con el pasar del tiempo la descomposición de los desechos se libera el biogás el cual se lo envía a través de tuberías a una planta procesadora para la obtención de la energía eléctrica.

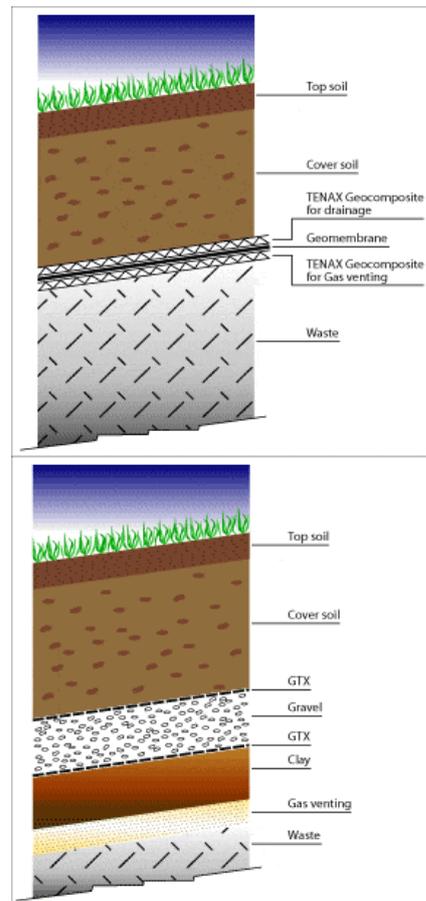
A continuación se mencionan las principales partes de las que está compuesto un relleno sanitario.

### **Sistema de Recolección de Lixiviados**

A medida que comienza la degradación y como consecuencia de la humedad presente en el residuo, la precipitación y las actividades de compactación, se genera un cierto flujo de lixiviado que debe ser recolectado para evitar el contacto con el suelo o aguas subterráneas.

### **Membranas de Recubrimiento**

Son las barreras que impiden el desplazamiento tanto vertical como horizontal del lixiviado fuera del relleno.



**Figura #12:** Aplicación de membranas con material convencional y geosintético.

### Pozo de monitoreo

Los pozos de monitoreo consisten en una serie de pozos de muestreo que se utilizan para detectar la posible migración de los lixiviados en el agua subterránea.

### **El lixiviado**

Los líquidos lixiviados se forman mediante el percolado de líquidos (como por ejemplo, agua de lluvia) a través de sustancias en proceso de descomposición. El líquido, al fluir, disuelve algunas sustancias y arrastra partículas con otros compuestos químicos.

### **Celdas de confinamiento del Relleno Sanitario**

Las celdas de confinamiento están conformadas básicamente por los rellenos sanitarios y el material de cobertura y será dimensionada con el objeto de economizar tierra, sin perjuicio del recubrimiento y con el fin de que proporcione un frente de trabajo suficiente para la descarga y maniobra de los vehículos recolectores.

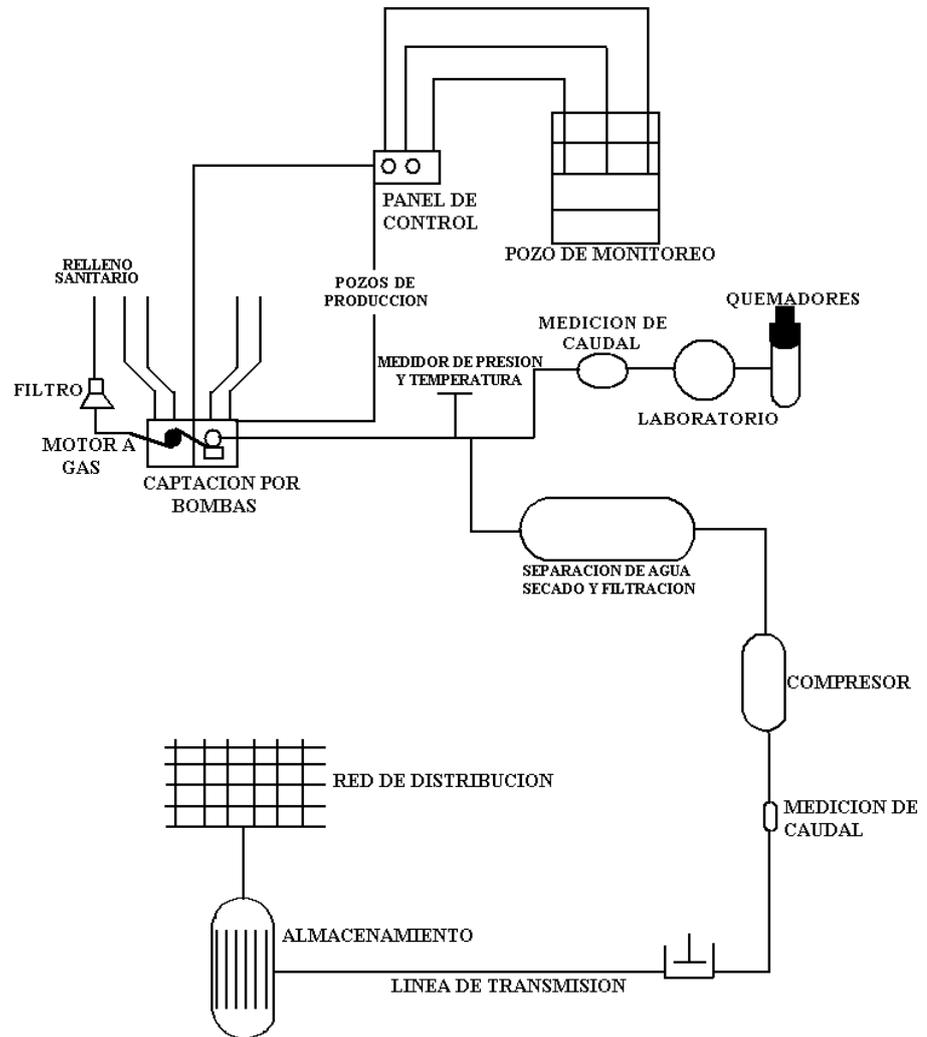
### **Pozos de extracción de biogás**

Son tuberías verticales que están fisuradas en la parte superior, rellenas con piedra en la parte

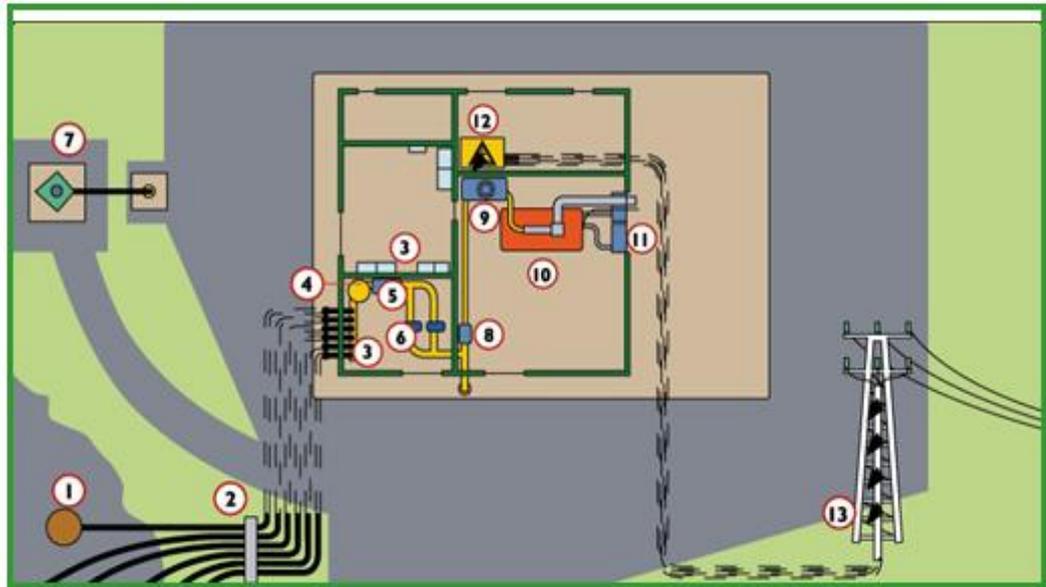
inferior, cuya función principal es extraer el biogás de los desechos sólidos.

#### **3.24.2.1.2. CONTROL**

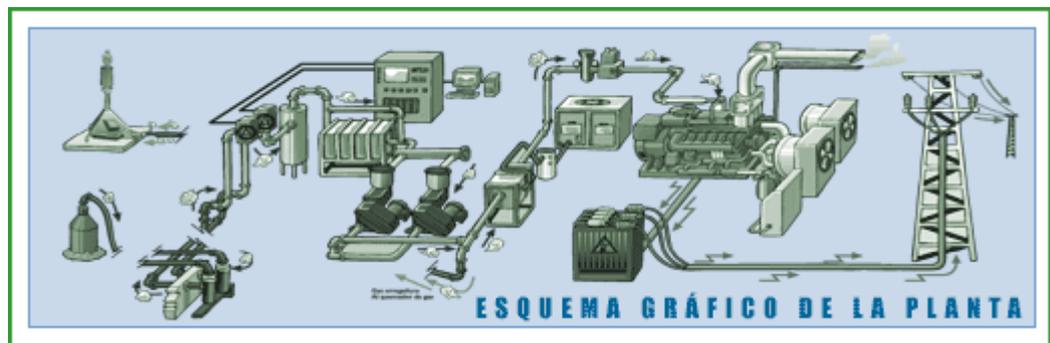
El proceso general de generación de energía a partir del biogás obtenido de la descomposición de la basura es el siguiente:



**Figura #13:** *Proceso de extracción de biogás*



**Figura #14:** planta del proceso de generación de energía



**Figura #15:** Transformación del Biogás en Electricidad

Tales elementos para su control se detallan a continuación:

**1 Chimenea de Biogás.-** El gas generado en la basura se capta mediante pozos de extracción que llegan hasta el fondo del vertedero.

**2 Calderas de Purga.-** Los condensados debidos a la humedad se recogen antes de que ingresen entrada de la planta.

**3 Regulación y Medición.-** Se toman muestras de cada línea de gas para conseguir una mezcla con una calidad adecuada para la valorización. Esto se logra regulando el caudal que se extrae de cada línea.

**4 Calderín Centrífugo.-** Se elimina parte de la humedad que todavía mantiene el biogás. La humedad debido al rozamiento de las paredes.

**5 Equipo Deshumificador.-** El gas se enfría para forzar la condensación de la humedad que todavía pueda quedar.

**6 Aspiración – Impulsión de Gas.-** Las turbosoplantes aspiran el gas desde el seno del vertedero para impulsarlo al motor.

**7 Quemador de Gas.-** El excedente de gas es desviado a una antorcha para garantizar en todo momento la desgasificación del vertedero.

**8 Intercambiador.-** Se acondiciona la temperatura del gas antes de la entrada al motor.

**9 Equipo de Frio.-** Controla el intercambio de calor en el deshumificador y en el intercambiador previo a la entrada al motor.

**10 Grupo Motor-Alternador.-** El gas alimenta al motor que provoca una fuerza motriz en el eje que se acopla al alternador para generar electricidad.

**11 Aerorefrigeración.-** Los aeros enfrían el fluido de refrigeración del motor.

**12 Transformación de Potencia.-** Se transforma la potencia generada para adecuarla a la red eléctrica.

**13 Red Eléctrica.-** La energía obtenida se la conecta a la red eléctrica.

## **CAPITULO IV**

# **ANALISIS ECONOMICO DEL RELLENO SANITARIO “LAS IGUANAS”**

Como sabemos existe una enorme producción de basura en el mundo, debido a nuestra forma de vida y mal uso de los recursos y el tratar con la basura siempre es una situación muy engorrosa, por los malos olores que causan, el mal aspecto al ambiente, la proliferación de plagas y con ellas las enfermedades que producen. Es esto lo que hace factible el aprovechamiento de la enorme cantidad de basura producida por la sociedad y que se acumula en los rellenos sanitarios originando la producción de biogás, con el cual se podría tener la generación de energía eléctrica, como parte de la adicionalidad de un proyecto MDL

(Mecanismo de Desarrollo Limpio) como lo es El relleno sanitario de las Iguanas.

La rentabilidad económica de estos proyectos de generación de energía eléctrica a partir de la basura es cada vez mayor debido a la vigencia del protocolo de Kioto (PK) el cual ha generado nuevas posibilidades de generar ingresos, y ha mejorado las condiciones en el mercado del carbono. Sin embargo debido a los elevados costos de análisis tanto para determinar el potencial aproximado de un relleno sanitario para generar biogás y energía, como para valorar los beneficios económicos que pueden obtenerse de este tipo de proyectos, en especial para comprender el procedimiento para beneficiarse de los ingresos derivados del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

#### **4.1. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS EN EL RELLENO SANITARIO “LAS IGUANAS”**

En este capítulo vamos a realizar el análisis de la factibilidad económica de la utilización del biogás producido en el relleno sanitario de las iguanas para la producción de energía eléctrica, para lo cual hemos considerado como fuentes de ingreso; la venta de energía eléctrica y venta de certificados de reducción de emisiones

bajo el papel de MDL (mecanismo de desarrollo limpio). Y como gastos la inversión en la planta de generación de energía eléctrica, los costos de producción y mantenimiento una vez montada la planta, y los costos de el transporte de el biogás a la planta generadora, cabe decir que los costos de infraestructura de los rellenos sanitarios y parte de las tuberías que conducen el biogás no ha sido considerados por estar ya construidos como parte de la eliminación de metano del relleno sanitario las Iguanas que hoy por hoy se está llevando a cabo.

El relleno sanitario de las iguanas es propiedad de La muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, Ecuador, pero este es administrado mediante concesión por el consorcio ILM para la disposición final de los desechos domestico y comercial de la ciudad de Guayaquil desde 1994; manejando aproximadamente 850,000 toneladas de desecho domestico anual y se especula que para el 2021 existan 23 millones de toneladas de desecho

Esta es una razón para pensar en la enorme factibilidad económica que se tendría en este proyecto, además estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA),

las empresas Eastern Research Group, Inc. (ERG), y Carbon Trade Ltd. (Carbon Trade), bajo contrato para el Municipio de Guayaquil revelan durante una revisión inicial que el potencial de generación de biogás en el Relleno Las Iguanas para el 2007 es de alrededor de 7,193 Nm<sup>3</sup>/hr de biogás con una concentración de metano aproximada de 50%, además que para el 2021 se podría alcanzar una producción de biogás de hasta 15,500 Nm<sup>3</sup>/hr.

Teniendo en cuenta las estimaciones iniciales del proyecto de recuperación de biogás el relleno sanitario de las iguanas fue sometido a otros estudios de pre factibilidad realizados el 3 y 26 de abril del 2007, los cuales indicaron que se podía obtener un biogás de gran calidad y en una muy buena cantidad.

Los resultados de los ensayos indicaron que de los sectores A y C (en el 2007), están disponibles 6939 Nm<sup>3</sup>/hr de biogás con unos desechos de aproximadamente 4 años de antigüedad, mientras que en la sección D, que en la actualidad está en operación se obtendría una cantidad menor mientras se continúe colocando desechos, pero se espera que el biogás disponible del sector para el 2022 sea de 14700 Nm<sup>3</sup>/hr.

Estos nuevos estudios muestran que se puede tener un potencial mayor de biogás que el estimado por los estudios preliminares con el modelo de decaimiento de primer orden , ya que revelan que el relleno sanitario de las iguanas presenta una gran cantidad de lixiviados a pesar de su sistema de drenaje, lo cual limita en cantidad y calidad el biogás obtenido, es decir que si se invierte en un mejor sistema eliminación de lixiviados como parte del diseño de sistema permanente de recuperación de biogás de un proyecto se podría obtener una mayor eficiencia en extracción de biogás.

Por todo lo mencionado el relleno sanitario de las Iguanas posee una gran cantidad de energía disponible, el cual se podría usar para la generación de energía y evaporación de lixiviado.

#### **4.1.1. LIMITACIONES DEL ESTUDIO REALIZADO POR METANO MARQUET**

El estudio realizado por metano Marquet fue basado en datos proporcionados por los dueños del sitio por lo cual la EPA deja bien en claro que no se responsabiliza por la exactitud de los datos tomados por terceras personas. Además que la proyección de la extracción fue realizada con parámetros típicos recomendados por las entidades internacionales, los cuales la

misma EPA menciona que no eran los apropiados para las condiciones climáticas y ambientales del país, recomendando así la creación de un modelo de decaimiento de primer orden con parámetros ecuatorianos para la estimación de biogás.

Actualmente el relleno sanitario de las Iguanas no cuenta con un sistema de recolección de gas, quemado o utilización, pese a quemarse una pequeña cantidad de biogás.

Otro punto a considerar es que el capital estimado, costos de operación y rendimiento de la inversión, resultado de la instalación de este sistema en el sitio del relleno sanitario de las Iguanas, son basados a costos típicos de América Latina y no garantiza la exactitud de los mismos.

#### **4.1.2. MODELO ECUATORIANO PARA LA GENERACION DE BIOGAS**

Luego de la sugerencia de la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (U.S. EPA), y bajo petición de la misma con contrato EPA EP-W-06-022 la Carbon Trade Ltd Latinoamérica elaboró un modelo específico de biogás de Ecuador que es una extensión del modelo de biogás de México

desarrollado por SCS Engineers en el año 2003. El modelo fue ajustado en base a la experiencia obtenida mediante la ejecución de dos estudios de pre factibilidad y ensayos de bombeo de gas llevados a cabo en el relleno Las Iguanas (Guayaquil) y relleno Pichacay (Cuenca) en marzo y abril 2007. Adicionalmente a los informes de evaluación de tres sitios, Chabay (Azogues), El Valle (Cuenca) y Loja.

La creación de este modelo se fundamentó en la aparente alta tasa de generación de biogás de los sitios evaluados (Las Iguanas y Pichacay), para este modelo básicamente se realizaron ajustes a los factores utilizados en modelos tradicionales para simular los efectos de altos contenidos orgánicos y de humedad en los desechos de Ecuador.

#### **4.1.3. CALCULOS DE LA CAPACIDAD DE GENERACION DE BIOGAS**

##### **4.1.3.1. MODELO DE EMISIONES**

La línea base para estimar la cantidad de metano generado en el sitio se calculó con el modelo ecuatoriano de producción de biogás, el cual está basado en

matemáticas de decaimiento de primer orden y utiliza la siguiente ecuación (Ecuación 1).

$$Q = \sum_0^n \frac{1}{\%vol} KML_o * e^{-K(t-tlag)}$$

Donde:

Q: Cantidad total del biogás generado (metros cúbicos normales)

N: Número total de años modelado

t: Tiempo en años, desde el inicio de la disposición de desechos.

t<sub>lag</sub>: Tiempo estimado entre el depósito del desecho y la generación de metano.

%vol: Porcentaje volumétrico estimado de metano en el biogás del relleno

Lo: Volumen estimado de metano generado por tonelada de desecho sólido.

K: Tasa estimada de descomposición del desecho orgánico.

M: masa de desecho en el lugar por año t (toneladas).

A través de este cálculo, se obtiene el potencial total de emisiones de biogás del sitio, el cual no representa el biogás recuperable que puede estar disponible para la producción de energía eléctrica. Sin embargo el modelo ecuatoriano realizado por la Carbon Trade Ltd Latinoamérica presenta la cantidad de biogás generados por el relleno al igual que la cantidad de biogás recuperable del mismo.

#### **4.1.3.2. ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE $L_0$ Y K PARA EL MODELO ECUATORIANO**

El valor de la capacidad de generación de metano del desecho ( $L_0$ ) depende exclusivamente del tipo de desechos presentes en el vertedero. Mientras mayor contenido de materia orgánica en los desechos, mayor el valor de  $L_0$ . El alcanzar este valor en la práctica está sujeto a la humedad presente en el vertedero, ya que en

un clima seco se inhibe la acción de bacterias que generan metano.

Las unidades de  $L_0$  están en metros cúbicos por tonelada de desecho, lo que significa que el valor  $L_0$  describe el importe total de gas metano producido por una tonelada de desechos.

La variable  $k$  describe el ritmo al que el desecho colocado en el sitio produce gas metano, es decir mientras mayor es el valor de  $k$ , más rápida la tasa de decaimiento de metano.

El valor de  $k$  depende del contenido de humedad del desecho, la disponibilidad de nutrientes para las bacterias que generan metano, el  $pH$  y la temperatura de los desechos.

Como resultado de los datos obtenidos de los ensayos de bombeo de gas de Pichacay y Las Iguanas en 2007, los valores de  $L_0$  y  $k$  para el modelo de Ecuador son los mostrados en la **tabla #10**.

Precipitación (mm/año)	k desechos con comida media (=<50%)	k desechos con comida media (=>65%)	Lo (m <sup>3</sup> /ton Métrica) desecho de comida media (=<50%)	Lo (m <sup>3</sup> /ton Métrica) desecho de comida alta (=>65%)
0	0.04	0.043	60	62
250	0.05	0.053	80	83
500	0.065	0.069	84	87
1000-1999	0.08	0.085	84	87
2000/saturado	0.08	0.085	84	87

**Tabla #10.-** Valores ecuatorianos para los parámetros k y Lo

#### 4.1.3.3. EFICIENCIA DE CAPACITACION

La eficiencia de captación consiste en la diferenciación entre el biogás generado y el biogás recuperado.

La eficiencia de captación de un relleno sanitario depende de la construcción del sitio y el nivel de lixiviados que se tenga dentro del mismo además de cierto modo el diseño de los posos de captación de biogás y la tecnología utilizada para la capa de cobertura del sitio también influye, ya que si no existe un buen sello de entre los desechos y la atmosfera de separación es necesario recolectar el gas usando una succión menor a

la normal reduciendo la cantidad de gas recolectado y por ende su eficiencia.

A través de los ensayos realizados por metano Marquet en el 2007 en los rellenos sanitarios de las Iguanas y en Pichacay, indican que en el Ecuador se podría tener una alta eficiencia en recuperación e biogás pese a la alta existencia de lixiviados, en comparación con los modelos de otros países.

Para el modelo ecuatoriano se presenta en la **tabla #11** los valores de eficiencia de captación a usar.

capa de cobertura técnica de captación	arcilla Saturada/Geomembrana	Arcilla no saturada
pozos perforados verticales colectores horizontales	80%	70%
chimeneas pasivas (existentes) convertidas	60%	40%

**Tabla #11.-** valores sugeridos para eficiencia de captación de biogás en el Ecuador.

En el relleno sanitario de las iguanas se utiliza capas de arcilla de 0.6m de espesor como material de cobertura ente los desechos y la atmosfera, además se realizo la transformación de los pozos levándolos a pozos verticales con colectores horizontales.

#### **4.1.3.4. DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS DE K Y LO PARA EL RELLENO SANITARIO “ LAS IGUANAS”**

##### **4.1.3.4.1. COMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS**

Los datos acerca de la composición del desecho fueron proporcionados por los operadores del relleno sanitario de las iguanas. Esta composición muestra en la tabla 4.3 a continuación.

Categoría de Desecho	Composición %
Comida	58.90%
Papel y Cartón	9.70%
Plásticos	8.00%
Metal	2.60%
Vidrio	2.40%
Recorte de grama, abono	0%
Desecho de construcción, incluyendo caucho	9.80%
Desecho de Jardín	1.70%
Madera (Leña y troncos de árboles)	4.70%
Lodos de aguas residuales	no hay dato

**Tabla #12:** Composición de desechos estimados en el relleno sanitario de las Iguanas

Como se puede apreciar en la tabla el relleno sanitario de las Iguanas presenta aproximadamente un 60% de basura de rápida descomposición, lo cual es muy favorable para la producción de metano en el mismo.

#### 4.1.3.4.2. PRECIPITACIÓN ESTIMADA DE AGUA EN EL SECTOR

El relleno se encuentra a unos 78msnm. Cabe decir que Guayaquil se caracteriza por un clima húmedo tropical con temperatura que se encuentra ente los 18°C y 25°C máximos en temporada lluviosa, además presenta una humedad relativa promedio de 80%.

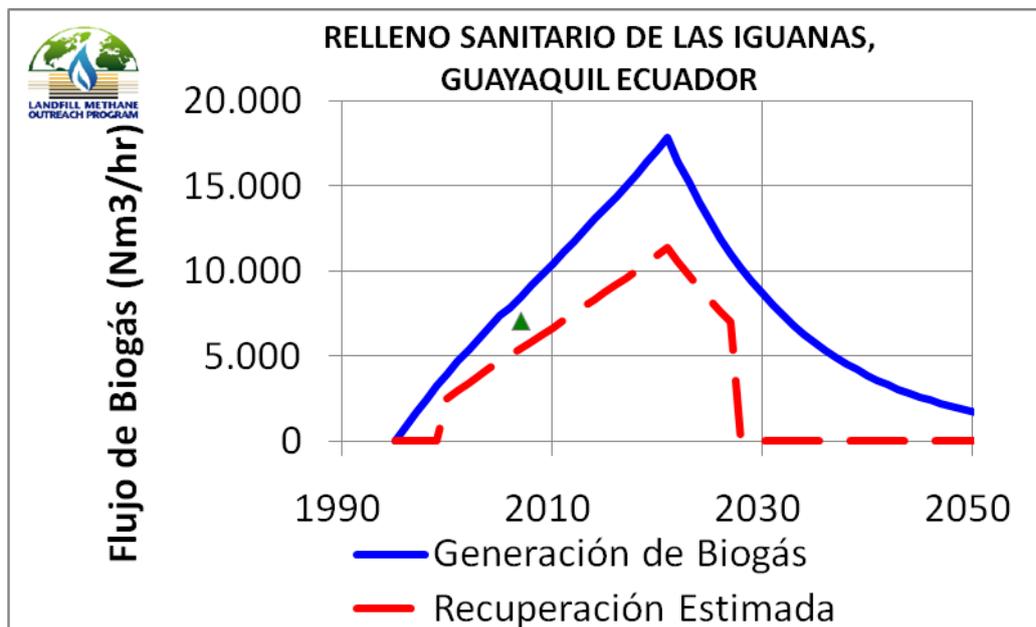
En cuanto a las precipitaciones de lluvia en Guayaquil según [www.worldclimate.com](http://www.worldclimate.com) son de 1080 mm por año.

En base a las tablas 4.1 y 4.3, se llega a la selección de los parámetros de k y Lo con los valores de 0.08/año y 84/m<sup>3</sup>Ton métrica

Con estos valores tenemos los siguientes resultados en el cálculo de la producción de biogás y de biogás recuperable según el modelo ecuatoriano, mostrados en la **tabla #13**.

Proyección de generación y recuperación de biogás en el relleno sanitario de las Iguanas, Guayaquil, Ecuador										
Año	Índice de Disposición (toneladas métricas/año)	Toneladas Acumuladas (toneladas métricas)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado			
			(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /hr)	mmBTU/año		(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /hr)	mmBTU/año	mmBTU/h
1995	561.089	561.089	0	0	0	0%	0	0	0	0
1996	580.727	1.141.816	14,3	860	134.697	0%	0	0	0	0
1997	601.052	1.742.868	28,1	1.685	263.753	0%	0	0	0	0
1998	622.089	2.364.957	41,3	2.477	387.766	0%	0	0	0	0
1999	643.862	3.008.819	54	3.241	507.294	0%	0	0	0	0
2000	666.397	3.675.216	66,3	3.979	622.859	80%	53,1	3.183	498.288	56,882192
2001	689.721	4.364.937	78,3	4.695	734.950	80%	62,6	3.756	587.960	67,118721
2002	713.862	5.078.799	89,9	5.392	844.021	80%	71,9	4.314	675.217	77,079566
2003	738.847	5.817.646	101,2	6.072	950.502	80%	81	4.858	760.402	86,803881
2004	764.706	6.582.352	112,3	6.738	1.054.795	80%	89,8	5.390	843.836	96,328311
2005	691.801	7.274.153	123,2	7.393	1.157.277	80%	98,6	5.914	925.821	105,68733
2006	782.307	8.056.460	131,4	7.886	1.234.378	80%	105,1	6.309	987.502	112,72854
2007	850.000	8.906.460	141,3	8.479	1.327.278	80%	113,1	6.783	1.061.822	121,21256
2008	879.750	9.786.210	152,2	9.131	1.429.286	80%	121,7	7.305	1.143.429	130,52842
2009	910.541	10.696.751	163	9.778	1.530.594	80%	130,4	7.822	1.224.475	139,78025
2010	942.410	11.639.161	173,7	10.423	1.631.504	80%	139	8.338	1.305.203	148,99578
2011	975.395	12.614.556	184,4	11.067	1.732.307	80%	147,6	8.854	1.385.846	158,2016
2012	1.009.533	13.624.089	195,2	11.712	1.833.278	80%	156,2	9.370	1.466.622	167,4226
2013	1.044.867	14.668.956	206	12.359	1.934.682	80%	164,8	9.887	1.547.745	176,68322
2014	1.081.437	15.750.394	216,9	13.012	2.036.771	80%	173,5	10.410	1.629.417	186,00651
2015	1.119.288	16.869.681	227,8	13.670	2.139.791	80%	182,3	10.936	1.711.833	195,41473
2016	1.158.463	18.028.144	238,9	14.335	2.243.977	80%	191,1	11.468	1.795.181	204,92934
2017	1.199.009	19.227.153	250,2	15.010	2.349.557	80%	200,1	12.008	1.879.645	214,57135
2018	1.240.974	20.468.127	261,6	15.695	2.456.753	80%	209,3	12.556	1.965.403	224,36107
2019	1.284.408	21.752.536	273,2	16.391	2.565.782	80%	218,5	13.113	2.052.626	234,31804
2020	1.329.363	23.081.898	285	17.101	2.676.856	80%	228	13.681	2.141.485	244,46176
2021	0	23.081.898	297,1	17.825	2.790.181	80%	237,7	14.260	2.232.145	254,81107
2022	0	23.081.898	274,2	16.454	2.575.662	80%	219,4	13.163	2.060.530	235,22032
2023	0	23.081.898	253,2	15.189	2.377.636	80%	202,5	12.151	1.902.109	217,13573
2024	0	23.081.898	233,7	14.021	2.194.834	80%	187	11.217	1.755.868	200,44155
2025	0	23.081.898	215,7	12.943	2.026.088	80%	172,6	10.354	1.620.870	185,03082
2026	0	23.081.898	199,1	11.948	1.870.315	80%	159,3	9.558	1.496.252	170,80502
2027	0	23.081.898	183,8	11.030	1.726.518	80%	147,1	8.824	1.381.214	157,67283

**Tabla #13:** Cálculos de la capacidad de generación de biogás



**Figura #16:** Curvas estimadas de flujo de Biogás

El grafico mostrado nos da la curva de biogás generado y recuperado en el relleno sanitario de la Iguanas

#### 4.2. PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA EN BASE AL BIOGAS RECUPERADO

La energía eléctrica puede ser producida por una variedad de tecnologías. En nuestro caso lo apropiado seria la utilización de generadores térmicos que funciones con biogás al 50% de metano.

#### 4.2.1. ESTIMACION DE LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DEL BIOGAS RECUPERADO EN EL RELLENO SANITARIO DE LAS IGUANAS

Con los datos de biogás recuperado en la tabla 4.4 se puede tener la energía disponible para la venta, teniendo en cuenta que  $1 \text{ m}^3 \approx 1.7 \text{ kWh}$  (fuente [www.tecprovider.org](http://www.tecprovider.org) nociones elementales sobre el biogas.pdf. y Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico.pdf de Bitrán & Asociados), con una eficiencia de 30% en la conversión de energía térmica a energía eléctrica.

El cálculo de esta constante se da en la siguiente formula.

$$1\text{m}^3 \times 17667.84 \frac{\text{BTU}}{\text{M}^3} \times \frac{\text{kW}}{10300\text{BTU}} \approx 1.7\text{kWH}$$

La tasa de kW/BTU depende de la eficiencia en la transformación de la energía térmica en eléctrica.

La cantidad de energía eléctrica que se puede obtener del relleno se muestra en la **tabla #14**.

Año	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado			energía en MW por constante	potencia disponible en el
	(m3/min)	(m3/hr)	(mmBTU/año)	MWH al año	Kw
1995	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0
2000	53,1	10.823	498.288	40401,811	5,41144
2001	62,6	12.777	587.960	47671,9032	6,3852
2002	71,9	14.681	675.217	54749,0739	7,33312
2003	81	16.541	760.402	61653,6307	8,25792
2004	89,8	18.364	843.836	68416,0349	9,16368
2005	98,6	20.159	925.821	75066,7477	10,05448
2006	105,1	21.514	987.502	80072,5514	10,72496
2007	113,1	23.144	1.061.822	86093,731	11,53144
2008	121,7	24.936	1.143.429	92713,9826	12,41816
2009	130,4	26.716	1.224.475	99283,4653	13,29808
2010	139	28.492	1.305.203	105832,64	14,17528
2011	147,6	30.268	1.385.846	112371,662	15,05112
2012	156,2	32.048	1.466.622	118920,837	15,92832
2013	164,8	33.835	1.547.745	125490,32	16,80824
2014	173,5	35.640	1.629.417	132120,725	17,69632
2015	182,3	37.461	1.711.833	138801,899	18,5912
2016	191,1	39.303	1.795.181	145554,15	19,4956
2017	200,1	41.174	1.879.645	152407,938	20,4136
2018	209,3	43.075	1.965.403	159363,263	21,3452
2019	218,5	45.007	2.052.626	166430,28	22,29176
2020	228	46.980	2.141.485	173639,45	23,25736
2021	237,7	48.993	2.232.145	180990,772	24,242
2022	219,4	45.247	2.060.530	167069,967	22,37744
2023	202,5	41.789	1.902.109	154225,461	20,65704
2024	187	38.595	1.755.868	142365,869	19,06856
2025	172,6	35.645	1.620.870	131420,116	17,60248
2026	159,3	32.921	1.496.252	121317,124	16,24928
2027	147,1	30.407	1.381.214	111995,973	15,0008

**Tabla #14:** Estimación de la capacidad de energía y potencia eléctrica en relleno sanitario de las Iguanas

En la tabla 4.5 se puede apreciar que a partir del 2008 existe una generación promedio estimada de energía eléctrica de

alrededor de 17.97 MW, sin embargo con el fin de ser un poco conservadores y de entrar en la regulación del CONEC 009/006, en nuestro trabajo de análisis hemos considerado instalar una central con capacidad de generación de 12MW.

#### 4.3. ESTIMACION DE TONELADAS EQUIVALENTES DE CO2 NO ENVIADAS A LA ATMOSFERA

Para estimar el número efectivo de toneladas equivalente a dióxido de carbono emitido por el sitio se utiliza la siguiente ecuación (ecuación 2):

$$T_{CO_{2eq}} = \%vol \cdot 21 \cdot Q \cdot \rho_{CH_4}$$

Esta ecuación consiste en transformar el volumen disponible de biogás en masa a través de su densidad, el factor 21 se utiliza debido a que el metano es 21 veces más contaminante que el CO<sub>2</sub>. La estimación de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> se muestra en la **tabla #15**.

años	Promedio m3/hr disponible a 50% CH4	MASA DE METANO CAPTURAD O	TONELADAS DE CO2 EQ
2007	6.783	2,4310272	51,0515712
2008	7.305	2,618112	54,980352
2009	7.822	2,8034048	58,8715008
2010	8.338	2,9883392	62,7551232
2011	8.853	3,1729152	66,6312192
2012	9.369	3,3578496	70,5148416
2013	9.888	3,5438592	74,4210432
2014	10.409	3,7305856	78,3422976
2015	10.936	3,9194624	82,3087104
2016	11.468	4,1101312	86,3127552
2017	12.008	4,3036672	90,3770112
2018	12.556	4,5000704	94,5014784
2019	13.113	4,6996992	98,6936832
2020	13.681	4,9032704	102,968678
2021	14.260	5,110784	107,326464
2022	13.163	4,7176192	99,0700032
2023	12.151	4,3549184	91,4532864
2024	11.217	4,0201728	84,4236288
2025	10.355	3,711232	77,935872
2026	9.559	3,4259456	71,9448576
2027	8.824	3,1625216	66,4129536

**Tabla #15:** Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes no enviadas a la atmósfera

#### 4.3.1. VENTA DE CERTIFICADOS DE CARBONO

Durante los últimos años los países europeos son los que han dominado la demanda de CERs a nivel mundial. Hasta el 2008 Europa manejaba alrededor de 90% de la compra de CERs en el mundo. Por otro lado China es el líder de la producción de CERs teniendo un 46.16% del total a nivel mundial.

Los precios a los cuales se rige el mercado de CERs varían dependiendo del tipo de escala y etapa del proyecto, así como también del país de donde provengan. Los precios en el Ecuador oscilan entre \$5 y \$10 dólares.

Para nuestro trabajo hemos considerado e precio de los CERs en \$10 con los cuales considerando los valores de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> mostrados en la tabla 4.6 se tendría un ingreso anual por venta de CERs de \$783 dólares anuales. Los resultados se muestran en la **tabla #16** a continuación

años	Promedio m3/hr disponible a 50% CH4	TONELADA	valor percibido por venta de CERs a \$10/cu
2007	6.783	51,05157	\$ 510,52
2008	7.305	54,98035	\$ 549,80
2009	7.822	58,8715	\$ 588,72
2010	8.338	62,75512	\$ 627,55
2011	8.853	66,63122	\$ 666,31
2012	9.369	70,51484	\$ 705,15
2013	9.888	74,42104	\$ 744,21
2014	10.409	78,3423	\$ 783,42
2015	10.936	82,30871	\$ 823,09
2016	11.468	86,31276	\$ 863,13
2017	12.008	90,37701	\$ 903,77
2018	12.556	94,50148	\$ 945,01
2019	13.113	98,69368	\$ 986,94
2020	13.681	102,9687	\$ 1.029,69
2021	14.260	107,3265	\$ 1.073,26
2022	13.163	99,07	\$ 990,70
2023	12.151	91,45329	\$ 914,53
2024	11.217	84,42363	\$ 844,24
2025	10.355	77,93587	\$ 779,36
2026	9.559	71,94486	\$ 719,45
2027	8.824	66,41295	\$ 664,13
		Promedio	\$ 783,42

**Tabla #16:** Valores percibidos anuales por la venta de CERs.

#### **4.4. VENTA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADO AL SNI**

##### **4.4.1. CONEXIÓN A LA RED DEL RELLENO SANITARIO DE LAS IGUANAS**

El relleno sanitario de las iguanas cuenta con una alimentación trifásica de 13800V a 60Hz, por lo cual e caso de vender energía a la red solo necesitaría un medidor especial que cense cuando está dando o recibiendo energía, como el que cuentan en el ingenio Valdez y otros proyectos MDL en el país.

##### **4.4.2. MARCO LEGAL DE LA VENTA DE ENERGÍA**

En nuestro país se está haciendo énfasis en la utilización de energías renovables. Y con el fin de fomentar su uso el CONECEL (Concejo nacional de Electrificación) dicto una resolución en la que se trata las preferencias y ventajas que tiene el desarrollar un proyecto MDL.

El CONECEL según resolución 009/006 resolvió lo siguiente:

#### 4.4.2.1. PRECIO DE LA ENERGÍA

“Los precios a reconocerse por la energía medida en el punto de entrega, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh”, estos precios se los muestra en la **tabla #17** a continuación.

CENTRALES	PRECIO (cUSD/kWh) Territorio Continental	PRECIO (cUSD/kWh) Territorio Insular de Galápagos
EOLICAS	9.39	12.21
FOTOVOLTAICAS	52.04	57.24
BIOMASA Y BIOGAS	9.67	10.64
GEOTERMICAS	9.28	10.21
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS HASTA 5 MW	5.80	6.38
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS MAYORES A 5 MW HASTA 10 MW	5.00	5.50

**Tabla #17:** Pliego tarifario para generadoras no convencionales dictados por el CONECEL por resolución 009/006

#### 4.4.2.2. POTENCIA LIMITE

Referente al límite de potencia de un proyecto MDL es de un máximo de 15MW para las generadoras no hidráulicas,

por lo cual nosotros planteamos una generadora de 12MW.

Además se resolvió que “En el caso que la potencia efectiva de la central supere el límite de los 15 MW, solamente la producción correspondiente a los primeros 15 MW tendrán los precios que contempla esta regulación”, es decir que si se genera más de los 15 MW, esta energía será vendida al precio que se rijan las centrales convencionales.

#### **4.4.2.3. VIGENCIA DE LS PRECIOS**

Los precios que dicta esta regulación estarán vigentes por 12 años a partir de la fecha de suscripción del contrato de permiso, para las empresas que hubieren suscrito contrato hasta el 31 de diciembre de 2008. Luego de este periodo las centrales renovables serán tratadas como las centrales convencionales de acuerdo a las normas que rijan en la fecha

Para aquellas centrales que no hayan suscrito contrato hasta el 31 de diciembre del 2008 el CONELEC realizará una revisión de los precios de la energía y su periodo de vigencia y cuyos precios estarán sujetos a estudios previos basados en referencias internacionales de energías renovables.

#### **4.4.2.4. PAGO DE POTENCIA**

No se reconocerá pago por potencia a la producción de las centrales no convencionales.

### **4.5. ESPECIFICACIONES BASICAS PARA UN SISTEMA DE EXTRACCION DE BIOGAS**

Para realizar la recolección de biogás y su posterior utilización en el relleno sanitario de las Iguanas se debe instalar un sistema de recolección de gas el cual constaría de:

#### **4.5.1. PERFORACIONES**

Debido a la alta presencia de lixiviados en el relleno, puede ser necesario el bombeo de los mismos, además del encajonamiento de los pozos durante las perforaciones.

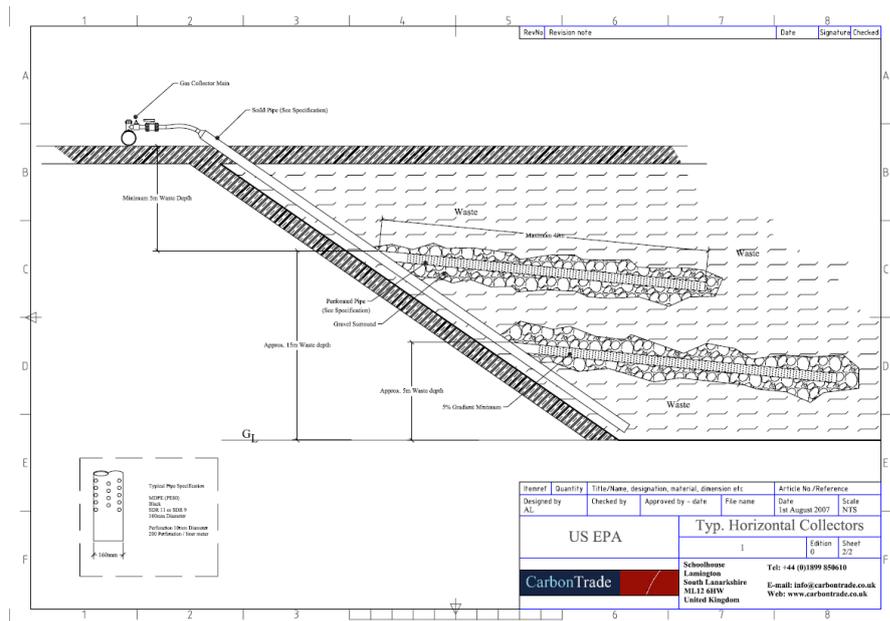
#### 4.5.2. POZO DE GAS

El biogás será recolectado por medio de pozos de gas horizontales instalados durante la colocación del desecho y/o verticales (donde ya estén realizados). Los pozos de gas están alineados con tubo de pozo MDPE, que es perforado debajo de la superficie. La sección superior del tubo es sólida (no perforada) y es sellada con bentonita de sodio hidratada. En localidades que no son apropiadas para la instalación permanente (por ejemplo, áreas donde futuros depósitos de desechos son planeado) se instalan pozos de gas temporales, los cuales consisten en, tubos de acero perforados que son llevados en el sitio a una profundidad de aproximadamente 10m o en algunas circunstancias en perforaciones horizontales con tubos MDPE, colocados dentro del desecho.

Es importante que todos los pozos tengan secciones sólidas (no perforadas), desde la superficie a unos cuantos metros de profundidad, y que estén completamente sellados para prevenir cualquier ingreso de aire.

Un dibujo demostrando la opción de convertir las aberturas pasivas existentes, un rediseño de una abertura de gas pasiva





**Figura #18:** Disposición de pozo horizontal (fuente estudio de perfectibilidad económica de Methane to markets, apéndice V, pagina 81)

#### 4.5.3. CONTROL DE LIXIVIADOS

La alta presencia de lixiviados reduce la eficiencia de recuperación de biogás, por eso es necesario un sistema de bombeo de eliminación de lixiviado para aumentar la eficiencia de recolección, el cual consiste de bombas eléctricas o neumáticas las cuales se instalan en los pozos de gas.

Para seguridad del sistema y del personal de trabajo del mismo, las bombas neumáticas son preferidas ya que reducen la probabilidad de accidentes por chispas en el relleno.

#### **4.5.4. RED DE TUBERIA**

Todos los pozos, deben estar conectados a una red de tubos no perforados MDPE, con instalaciones que permitan el monitoreo de flujo del biogás del relleno, con la finalidad de llevar un record de los componentes del gas, así como también de la presión y temperatura de cada ubicación.

La red de tubos debe contar con un tubo de “encabezamiento” principal, de 350mm de diámetro aproximadamente. Siendo colocado en tierra natural alrededor del perímetro del sitio. Los tubos secundarios de 250mm de diámetro aproximadamente, se deben colocar en la superficie del desecho, para que conecten conectan el pozo con el tubo principal.

#### **4.5.5. BOMBA DE GAS**

El biogás del relleno será extraído de los pozos a través de la tubería por medio de espacios vacíos creados por una bomba centrifuga, la cual además presurizara el biogás antes de entrar como energía al equipo de generación.

#### 4.6. COSTOS ESTIMADOS EN EL SISTEMA DE EXTRACCION DE GAS

Los valores de estos costos fueron tomados del estudio de perfectibilidad económica realizado por Methane Market para el relleno sanitario de las iguanas, debido a que es muy complicada la obtención de valores reales para un trabajo investigativo como el nuestro.

“Estos valores representan el costo promedio de sistemas similares en América Latina y debe confirmarse obteniendo cotizaciones con contratistas especializados y proveedores de equipo”

El detalle de costo de la construcción del sistema de extracción de biogás se muestra en la **tabla #18**.

<b>COSTOS ESTIMADOS EN EL SISTEMA DE EXTRACCION DE GAS</b>	
Construcción de pozos	\$ 675.660,00
Trabajos de tubería	\$ 1.375.190,00
Ingeniería civil	\$ 175.500,00
Control de lixiviados	\$ 726.750,00
Instalación	\$ 10.051,00
Repuestos	\$ 42.900,00
Administración de energía	\$ 170.000,00
Contrato y costos de construcción	\$ 4.028.701,00
10% costo de producción por contingencias	\$ 402.870,10
<b>total de costos para la extracción de gas</b>	<b>\$ 4.431.571,10</b>

**Tabla #18:** Costos estimados del sistema de extracción de gas

## **4.7. COSTOS DE EQUIPOS DE GENERACION**

En este estudio se plantea una central con 12 MW de generación, los cuales por motivo de confiabilidad constara de 6 unidades de 2MW cada una, con un transformador de potencia por cada generador, esto incrementa un poco los gastos de inversión en los equipos de generación, pero creemos que es lo más factible en términos técnicos.

### **4.7.1. COSTOS DE LOS GENERADORES**

No fue posible conseguir una cotización real de un generador a gas como los Jenbacher, pero el costo que se plantea es el de grupo electrógeno MC-2050 marca Modasa, con motor Cummins y alternador Stanford con una capacidad de 2.567MVA y 2.054MW a un costo de \$512500 cada generador.

Los datos detallados del grupo electrógeno se encuentran en el anexo 2.

### **4.7.2. COSTOS DE LOS TRANSFORMADORES**

Los costos de los transformadores fueron cotizados en una fabrica local a \$26246 cada uno y las protecciones de los

mismos están en un monto alrededor de \$4200. La cotización de los transformadores es presentado en el anexo 2.

El detalle de los costos de los equipos de generación es detallado en la **tabla #19**.

<b>COSTOS DE EQUIPO GENERACIÓN</b>	
6 generador de 2 MW	\$ 3.075.000,00
transformadores e interruptores	\$ 162935,28
ingeniería civil	\$ 250.000,00
costos de ingeniería	\$ 500.000,00
<i>total de inversión de generación</i>	<i>\$ 3987935,28</i>

**Tabla #19:** Costos de equipos de generación.

#### 4.7.3. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los datos de operación y mantenimiento fueron extraídos del estudio de pre-factibilidad económica realizado por Methane to Markets para el relleno sanitario Las Iguanas.

Los costos se detallan en la **tabla #20**.

<b>COSTOS DE OPERACIÓN MANTENIMIENTO</b>	
sistema de gas	\$ 200.000,00
sistema de generación	\$ 500.000,00
sistema de evaporación	\$ 150.000,00
pago de salarios de personal	\$ 850.000,00
Seguros	\$ 100.000,00
mantenimiento de sistema gas	\$ 120.000,00
operación del sistema de gas 5% capital	-
operación en generación	\$ 1.458.185,06
costo de operación de evaporación de lixiviados	\$ 335.800,00
costos varios	\$ 14.932,00
<b>total de mantenimiento y operación</b>	<b>\$ 1.928.917,06</b>

**Tabla #20:** Valores estimados para los costos de operación y mantenimiento.

#### 4.8. DESARROLLO DEL MODELO FINANCIERO

Para nuestro modelo financiero hemos considerado el costo de la energía según plan tarifario de CONECEL presentado en la **tabla # 16**, el ingreso por venta de CERs mostrado en la **tabla # 17**, el

resumen de gastos presentado en la **tabla # 21** y los parámetros económicos empleadas para el respectivo modelo en la **tabla # 22**.

Resumen de Costos	
total de costos para la extracción de gas	4431571,1
total de inversión de generación	3987935,28
total de mantenimiento y operación	2349019,508
Capital	8402049,02

**Tabla #21:** Resumen de costos.

Parámetros económicos	
Inflación	3%
Inversión total	8419506,38
Vida Útil	20
precio de potencia [\$/MW]	0
Precio de energía [\$/MWH] POR 12 AÑOS	96,7
Precio de la energía des pues de 12 años [\$/MWh]	47,93
Potencia instalada [MW]	12
Precio de la tn equivalente de CO2 [\$/tn]	10
Utilidad de trabajadores	15%
Impuesto a la renta	25%
Inversión 1er año	70%
Inversión 2do año	30%
Costo de oportunidad	8%

**Tabla #22:** Parámetros económicos

#### 4.8.1. MODELO FINANCIERO SIN PRESTAMO CON 100% DE INVERSION Y CON 70% DE INVERSION

Para ambos casos aparentemente el negocio se presenta con un VAN y un TIR excelentes a un interés del 8%, sin embargo en el flujo económico se puede apreciar que a partir del 2020 se comienza a tener pérdidas en el negocio por el cual el valor del TIR no sirve como indicador financiero. Las pérdidas se deben a la normativa 009/06 la cual reduce el precio de la energía a partir de los 12 años de funcionamiento.

Los resultados del modelo financiero se presentan en la **tabla # 23**.

EVALACIÓN DEL PROYECTO SIN PRÉSTAMO (100%) (CO=8%)	
VAN <sub>8%</sub> :	\$ 6'294.208.77
TIR:	23% (Indicador no válido por la variación de los flujos)

EVALACIÓN DEL PROYECTO SIN PRÉSTAMO (30%) (CO=8%)	
VAN <sub>8%</sub> :	8'763.930,65
TIR:	34% (Indicador no válido por la variación de los flujos)

**Tabla # 23:** Modelo financiero al 100 de inversión y 70 % de inversión

#### 4.8.2. MODELO FINANCIERO SIN ACOGERSE A LA NORMATIVA 009/06

En este modelo se supone que la generadora no se acoge a la normativa 009/06 del CONECEL y es tratada como cualquier generadora convencional con un costo de la energía de \$0.04793 a un interés del 8%.

Los resultados de este modelo se presentan en la **tabla # 24**:

EVALACIÓN DEL PROYECTO SIN PRÉSTAMO (100%) (CO=8%)	
VAN:	(5.803.417,49)
TIR:	#¡NUM!

EVALACIÓN DEL PROYECTO SIN PRÉSTAMO (30%) (CO=8%)	
VAN:	(3.333.695,62)
TIR:	#¡NUM!

**Tabla #:24** Modelo financiero bajo el trato de una generadora convencional

Bajo estas condiciones el negocio no es rentable de ninguna manera, debido a que existen perdidas en todo el flujo económico (modelo financiero adjunto en anexo 3)

#### **4.8.3. DETERMINACION DEL PRECIO DE LA ENERGIA A COBRAR PARA HACER FACTIBLE EL PROYECTO**

Dado los resultados negativos de los dos modelos financieros anteriores se realizo un nuevo modelo en el que se varia el precio a cobrar por la energía producida por el proyecto hasta hacerlo factible económicamente, obteniendo los resultados mostrados en la ***tabla # 25***.

PRECIO DE COBRO POR LA ENERGIA	\$ 0,04793	\$ 0,0500	\$ 0,0600	\$ 0,0700	\$ 0,0800	\$ 0,0900	\$ 0,0967	\$ 0,1000
<b>ALACIÓN DEL PROYECTO SIN PRÉSTAMO (100%) (CO=8</b>								
VAN:	#i REF!	(5.792.949,26)	(180.585,45)	4.740.275,98	9.625.140,49	14.510.005,00	17.782.864,22	19.394.869,51
TIR:	#i REF!	#i NUM!	8%	15%	21%	26%	30%	31%
<b>ALACIÓN DEL PROYECTO SIN PRÉSTAMO (30%) (CO=8</b>								
VAN:	#i REF!	(3.324.828,22)	2.287.535,60	7.208.397,03	12.093.261,54	16.978.126,04	20.250.985,27	21.862.990,55
TIR:	#i REF!	#i NUM!	14%	22%	30%	37%	41%	43%

**Tabla #:25 Indicadores económicos**

## CONCLUSIONES

1. En Ecuador uno de las mejores opciones para proyecto de recuperación y utilización de biogás es el vertedero de desechos sólidos municipales “Las Iguanas”, El sitio está bien operado y administrado y contiene una enorme cantidad de material orgánico (casi 60% del total de basura). El sitio actualmente no opera con un sistema de captación de biogás, aunque cuenta con un sistema de chimeneas que queman ineficientemente un poco del biogás producido.
2. El relleno sanitario de las Iguanas presenta una gran producción de biogás, el cual tiene que ser aprovechado de alguna manera. Es por ese motivo que se plantea la instalación de una generadora de 12 MW que provea de energía a las cargas cercanas, sacando así el máximo

provecho a la disposición final de los desechos y además reducimos la emisión de gases de efecto invernadero al ambiente.

3. El proyecto se presenta no factible financieramente con las regulaciones actuales del país, sin embargo no se considera el valor agregado de no contaminar el ambiente con un promedio de 78.4 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales por aproximadamente 20 años. Además si se cobrara un valor a las generadoras térmicas por contaminar el ambiente por el uso de combustible fósil, su rentabilidad caería notablemente. Por ese motivo creemos que el gobierno o alguna entidad ambiental debe financiar este proyecto, el cual según el estudio financiero realizado se pudo apreciar que si la energía generada se vende a un precio de \$0.06 presenta un VAN equivalente a \$2.287.535,60 y un TIR de 14% con el 70% de la inversión, siendo esto atractivo para el mercado.

Si la energía generada se vende a un precio de \$0.07 se tiene un VAN de \$4'740275,98 con un TIR de 15% con el 100% de la inversión inicial y un VAN de \$7'208397,02 y un TIR de de 22% con la donación del 30% del capital, valores muy buenos para un negocio sin considerar su beneficio o valor ambiental para el planeta.

4. A nivel de sur América los proyectos de MDL han tenido una creciente acogida, esto se debe a la facilidad de los gobiernos para el desarrollo de los mismos. Países como Brasil han sido pioneros en el desarrollo de biodiesel.
  
5. El estudio se ha enfocado en la disposición final de los residuos que permitan la producción de biogás, tales tratamientos son los siguientes: reducción de tamaño, separación manual, separación mecánica, compactación y digestión anaerobia.

La reducción del tamaño, se simplifica con un gran elemento, las cribadoras; en la separación manual lógicamente interviene el ser humano, sin embargo el hecho que los desperdicios sean reciclados no reducen en grandes proporciones la capacidad de generación de metano; la separación mecánica que en conjuntamente con la digestión anaerobia ha llegado formar en la actualidad los procesos modernos con grandes eficiencias en sus sistema donde mayormente toman en cuenta la valorización de los materiales y residuos; y por último el tratamiento por compactación que conforman los Rellenos Sanitarios.

6. La generación y recuperación de metano bajo la línea de mecanismo de desarrollo limpio representa un ingreso económico adicional por la venta de bonos de carbono gracias a la reducción de emisión de gases de efecto invernadero.
  
7. Nuestro trabajo estuvo encaminado determinar la factibilidad de la utilización de el biogás producido por la disposición final de los desechos sólidos de Guayaquil y producto de este se obtuvo los resultados mencionados a continuación:
  - Se utilizó para el pronóstico de cantidad de biogás el modelo de primer orden cinético U.S.EPA México
  - Se tiene una producción actual de biogás recuperable de 8338 m<sup>3</sup>/hrs (2010) en los 4 sectores del relleno y con una posible generación de 84288.15 MW al año, teniendo una capacidad individual de:
    - Para el sector A se tiene una producción de biogás de 2920.12 m<sup>3</sup>/hrs.
    - Para el sector C se tiene una producción de biogás de 1227.83 m<sup>3</sup>/hrs.

- Para el sector D se tiene una producción de bigas de 2.95 m<sup>3</sup>/hrs.
- Además se pronosticó una producción máxima para de biogás recuperado de 14260 m<sup>3</sup>/hrs. para el 2021.
- Cabe decir que el sector B no produce biogás debido a que es un depósito para desechos inertes (desecho de construcción).
- Se tendría una capacidad máxima de generación de 24 MW en el 2021.
- Se estima una máxima reducción de toneladas de carbono equivalente de 107 toneladas equivalentes de carbono para el 2022. Y un total de 1671.29 toneladas equivalentes en la vida útil del proyecto.

## RECOMENDACIONES

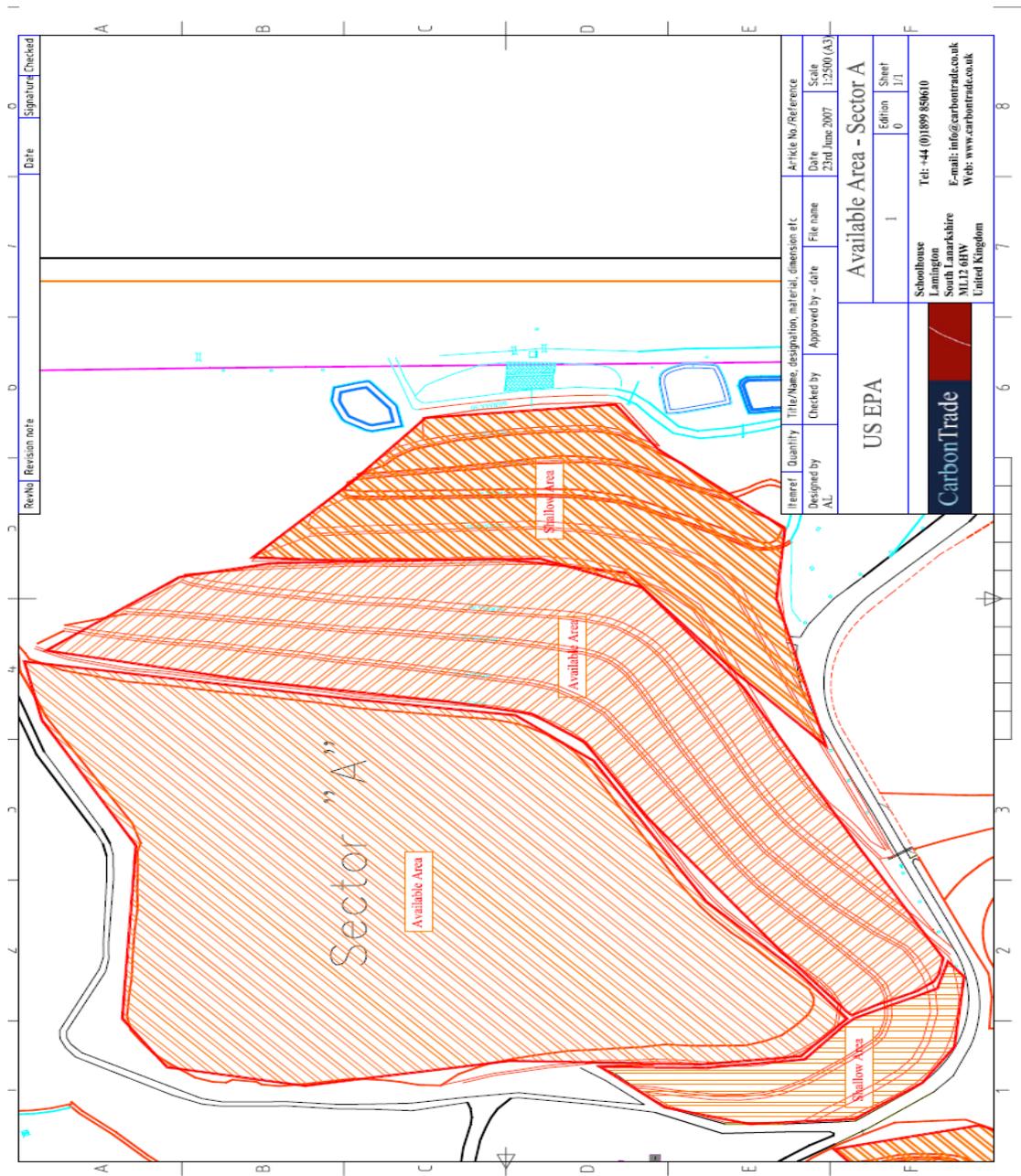
1. Un buen desempeño aplicando la tecnología por bio-metanización sería la disposición de dos reactores en serie (reactor acidogénico y metanogénico) o a su vez por un reactor UASB, donde es necesario mantener el volumen adecuado de lodos de cada reactor para evitar que haya una sobre carga (inhibición de la metanogénesis).
2. El uso de una planta de bio-metanización es factible para ciudades con extensa población, debido a que estas tienen: altos índices de producción de desechos sólidos municipales, menor utilización de terreno y una extracción de metano más eficiente que en los rellenos sanitarios que se utilizan en ciudades con menor densidad de población.

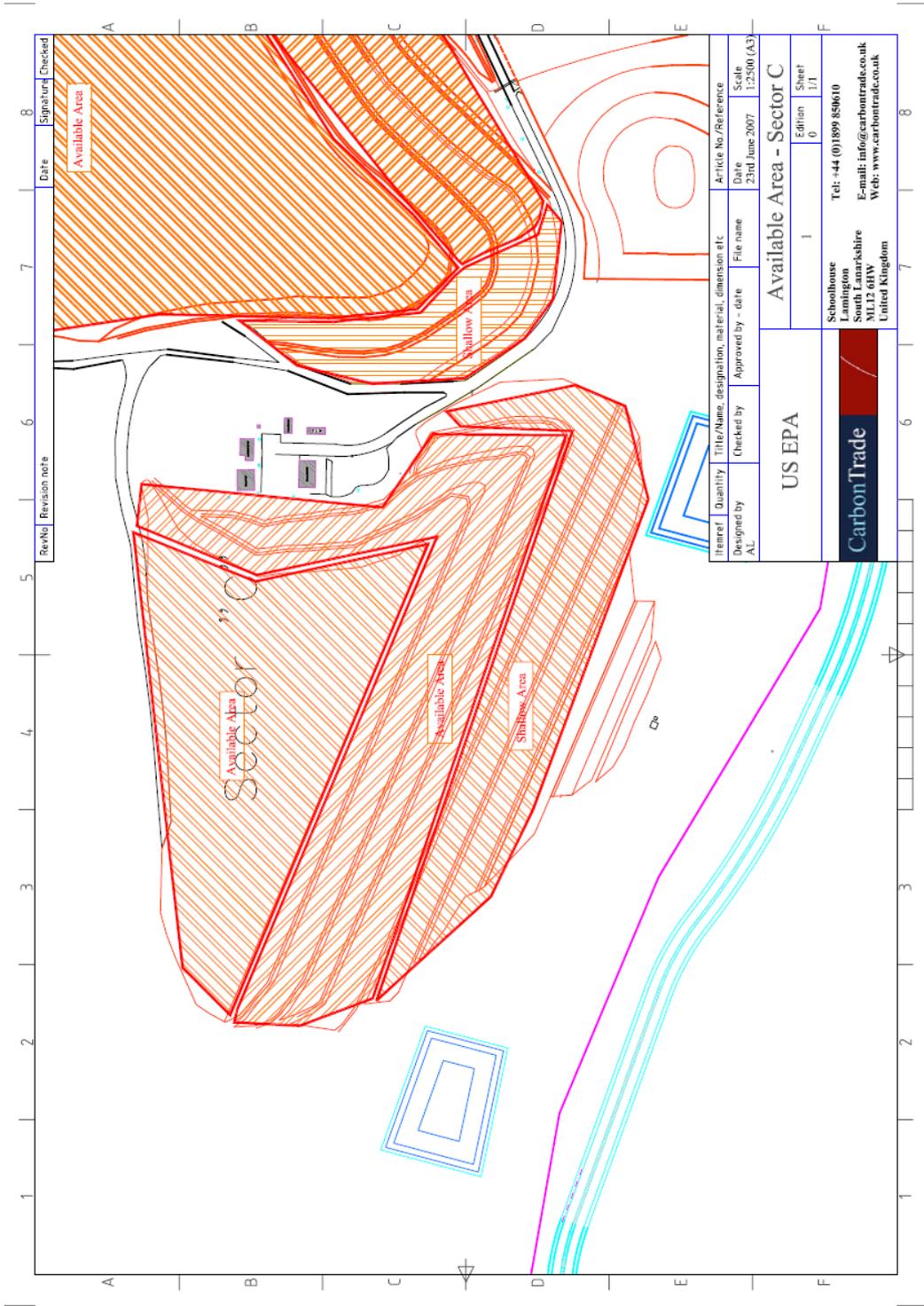
3. Un buen relleno sanitario para fines de producción de biogás, sea por métodos de reciclaje manual, sin reciclajes, deben cumplir de las normas estipuladas por el gobierno independiente o por instituciones internacionales, de modo que además de solucionar en un pequeño porcentaje en el campo laboral, tengan en cuenta que afectan al mundo.
  
4. Las razones principales en la implementación de los Rellenos Sanitarios se encuentran la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, eliminación de la incineración de los residuos sólidos, adquisición de bonos verdes, además de la generación de nuevas fuentes de empleo, no obstante como todo gran ideal existen en un menor nivel la exposición de gases al medio ambiente.

# ANEXOS

(Tomado del estudio de pre factibilidad de Metano Trade adjunto)

## 1. AREAS DISPONIBLES PARA UN SISTEMA DE COLECCIÓN DE GAS





**2. COTISACIONES DE GENERADORES Y TRANSFORMADORES  
ORDEN DE COMPRA DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO DE  
2KVA**

**INPROEL S.A.**  
 Matriz: Km. 15.5 Vía a Daule y Av. Roseaván  
 Fono: 1-700-INPROEL Fax: 5012278  
 R.U.C.# 0990020264001  
 e-mail: [compra@inproel.com](mailto:compra@inproel.com)  
[www.inproel.com](http://www.inproel.com)  
 Almacén: Km. 4 1/2 Av. Guillermo Cubillo y calle 181 ( )  
 Proveedor: MOR001 COMPAÑIA ANONIMA MORETRAN  
 RUC# 0990331944001  
 VIA A DAULE KM 7 1/2 S/N  
 DIAGONAL TEXTILES SAN ANTONIO  
 Pag.: 1  
 Fecha emisión: 2010-03-26  
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL  
 NOTIFICACION  
 Comprador: BODEGUERO S.A.  
 Términos: 30 DIAS  
 Fax:

PEDIDO	RECIBIDO	U/M	DESCRIPCION	DESC	PRC.UNIT.	VALOR TOTAL
1	UN	TR. 3F 2.000kVA 13.8 480/277V MI			24246.3200	24,246.32

TIEMPO DE ENTREGA: 23 ABRIL 2010  
 TR.3F CONVENCIONAL CONEXION

Importante: Sr. Proveedor, no olvide que por cada O/C emita una factura.  
 Subtotal No Imponible: USD 0.00  
 Subtotal Imponible: USD 24,246.32  
 IVA (2.00%): USD 2,909.56  
 TOTAL: USD 27,155.88

COMPRADOR: BODEGUERO      AUDITOR:      Copias: Proveedor, Facturación & Esbozadas; Compras  
 Copias: Proveedor, Facturación & Esbozadas; Compras

### 3. COTISACION DE GRUPO ELECTROGENO DE 2MW MARCA

## GENERADORES

# OFERTA

**FG WILSON - MODASA - LEGA POWER**

Obrero Independiente Calle "R"  
QUITO - ECUADOR  
Teléfono: 094177344 / 095793663 / TELEFAX : 022 607687



FECHA: 08/06/2010

Nº DE OFERTA: **548**



OFERTA A:	Nombre:	Paul Carrion		
	Nombre de la compañía:	PANELEC		
	Dirección:	Guayaquil		
	Ciudad:	Guayaquil		
	Teléfono:			
	observaciones:			

Comentarios o instrucciones especiales:

	GARANTIA	CONDICIONES
1 año o mil horas de funcionamiento lo que suceda primero contra defectos de fabricación		Pago de contado

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO POR UNIDAD	CANTIDAD
2	GENERADOR POWER BY CUMMINS MODASA MC-2050 POTENCIA STAN BY : 2054KW 2567KVA POTENCIA PRIME : 1860 KW 2325KVA POTENCIA CONTINUA: 1500KW 1875KVA fecha de entrega noviembre 2010	\$ 512.500,00	\$ 1.025.000,00 \$ 0,00 \$ 0,00 \$ 0,00 \$ 0,00 \$ 0,00 \$ 0,00 \$ 0,00
		SUBTOTAL	\$ 1.025.000,00
		DESCUENTO	
		IVA	\$ 123.000,00
		TOTAL	\$ 1.148.000,00

GENERADORES - TABLEROS DE TRANSFERENCIA - PROYECTOS ELECTRICOS

**GRUPO ELECTROGENO MC-2050**

MODELO		POTENCIA		AMPERAJE
		PRIME <sup>(1)</sup>	STAND BY <sup>(2)</sup>	
MC-2050	440V / 60Hz	1860 Kw	2054 Kw	3051 A
	FP : 0.8	2325 KVA	2567 KVA	

**Datos Técnicos**
**Grupo Electrónico**

Modelo	MC-2050
Motor	CUMMINS QSK60-G6
Alternador	STAMFORD PI734F
Módulo de control	Electrónico
Fases:	Trifásico
Sistema Eléctrico	24V
Frecuencia	60Hz
Flujo de agua refrigerante	10.8 l/s
Flujo de aire radiador	1190 m <sup>3</sup> /min
Flujo de aire combustión	174 m <sup>3</sup> /min
Flujo de gases escape	414.5 m <sup>3</sup> /min
Temperatura gases escape	475°C


**Motor Cummins**

Numero de cilindros	16 en 'V'
Sistema de Gobernación	Electrónica
Ciclo	4 tiempos
Aspiración	Turbo cargado post enfr.
Combustible	Diesel
Sist. Combustión	Inyección directa
Sist. Enfriamiento	Agua
Diámetro pistón	159 mm
Desplazamiento Pistón	190 mm
Capacidad	60200cc
Relación compresión	13.9:1
Cap. Sist. Lubricación	280 litros
Cap. Sist. Refrigeración	193 litros

**Alternador STAMFORD**

Aislamiento	Clase "H"
Sistema de excitación	Autoexcitada, PMG
Tarjeta reguladora voltaje	MX321 ± 0.5%

**Normas Técnicas**

Motor:	ISO 3046, BS 5514, DIN 6271
Alternador:	UTE NFC 51-111-105-110 ICE 34-1, BS 5000-4999 NEMA MG 21, VDE 0530
Grupo Electrónico:	ISO 8528

**Consumo de Combustible**

Velocidad del motor	1800 RPM (l/hr)
Potencia Stand by <sup>(2)</sup>	518.0
Potencia Prime <sup>(1)</sup>	469.0
75% Potencia Prime <sup>(1)</sup>	370.0
50% Potencia Prime <sup>(1)</sup>	269.0

**Dimensiones del Grupo**

Largo	6200mm.
Ancho	2500mm.
Altura	2800mm.
Peso	16000Kg.

(1) Potencia Prime.: Potencia disponible con carga variable durante un número limitado de horas al año (ISO 8528-1). Acepta sobrecargas de 10% más de la potencia por una hora cada 12 horas.

(2) Potencia Stand By.: Potencia disponible con carga variable para el caso en que la red comercial falle. No acepta sobrecargas (ISO 8528-3); tiene un límite de uso de 500 horas anuales o 300 horas continuas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Conestoga-Rovers & Associates ,“Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean”, Waterloo, Canada; Enero 2004 ; pág. 1-129
2. CAMARGO, Y & VÉLEZ, A , “Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios” , Santa Marta, Colombia; 2009 ;Pág. 3 .Disponible en : <http://www.uninorte.edu.co>
3. REINHART, Debra & AYMAN, Faour “First-Order Kinetic Gas Generation Model Parameters for Wet Landfills” Orlando, Florida; June 2005; Pág. 1-12. Disponible en <http://www.epa.gov>
4. U.S Environmental Protection Agency “71 FR: Emission Guidelines and Compliance Times for Municipal Solid Waste Landfills” Mayo 2006; Pág. 113-115. Disponible en <http://www.epa.gov>
5. U.S Environmental Protection Agency “40 CFR Ch 1” Junio 1999 ;Pág. 732-735, 722-740 Disponible en <http://www.epa.gov>