

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



Gerardo Altamirano

Antonio Freire

Danny Gallegos

# Antecedentes

- Nuestra sociedad enfrenta crecientes problemas asociados con los desechos debido a que a medida que la población ha ido creciendo también lo ha hecho la cantidad de desechos que se produce. Debido a esto en muchos países se han construido rellenos sanitarios y para sacar un mayor provecho se están construyendo plantas de biogás con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que son liberados por la descomposición de la basura y su vez se genera energía eléctrica de manera limpia sin contaminar el medio ambiente.

# Protocolo de Kyoto y MDL

- El Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global: ( $\text{CO}_2$ ), ( $\text{CH}_4$ ) y ( $\text{N}_2\text{O}$ ), además de tres gases industriales fluorados
- El Mecanismo de Desarrollo limpio es un acuerdo suscrito en el Protocolo de Kyoto que permite a los gobiernos de los países industrializados invertir en proyectos de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo.
- El MDL permite también la posibilidad de transferir tecnologías limpias a los países en desarrollo

# Bonos Verdes

- Los "bonos verdes" o bonos de carbono son un mecanismo desarrollado para reducir la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) mediante el cual, en un esquema de mercado, empresas de países industrializados pagan a otras, la mayoría naciones en desarrollo, por su reducción en las emisiones de GEI, por lo cual se expiden certificados. Estos certificados se conocen como Certificados de Emisiones Reducidas (CERs). Por lo que referirse a Bonos de Verdes es equivalente a hablar de CERs.

# Relleno Sanitario

“Es la técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin ocasionar las molestias o peligros para la salud y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar las basuras en la menor superficie posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable. La basura así depositada, se cubre con una capa de tierra necesaria, por lo menos cada fin de jornada ”

*American Society of Civil Engineers*

# Tipos de Rellenos Sanitarios

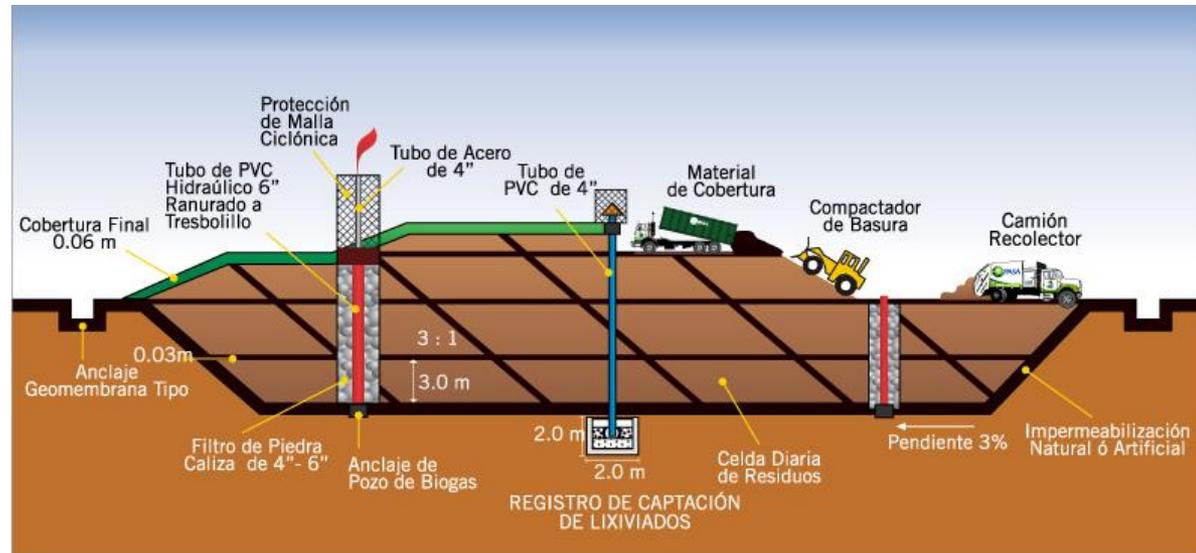
❖ Cielo abierto

❖ Controlados

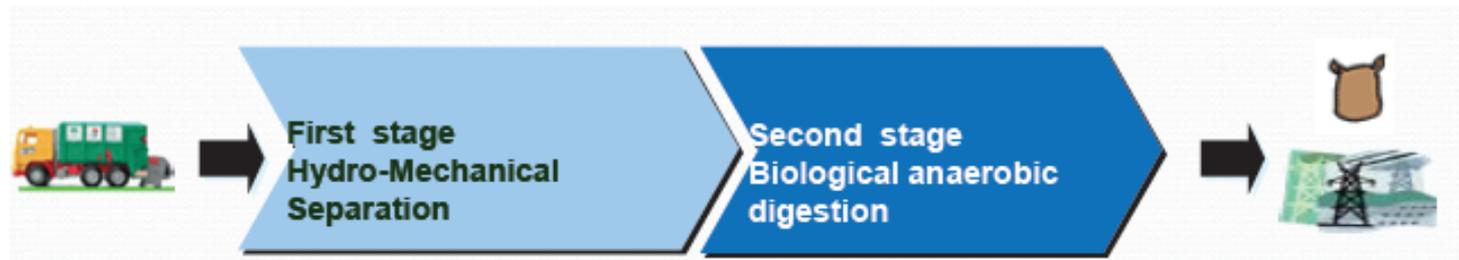
➤ No reciclados

➤ Reciclados

- Manualmente
- Mecánicamente



# ARROWBIO



## ➤ **Proceso Hidromecánico**

La finalidad de este proceso hidromecánico es la de lograr una separación completa entre los materiales biodegradables y no degradables que conforman los residuos urbanos para proceder, posteriormente, a separar y clasificar los materiales reciclables y obtener energía verde de los materiales biodegradables.

# ARROWBIO

## ➤ **Proceso Biológico**

La mezcla orgánica obtenida en el proceso hidromecánico, altamente acuosa, del orden del 97%, y ya limpia de materiales inapropiados, es conducida hacia el proceso digestivo anaerobio.

Dicha digestión se lleva a cabo en dos etapas totalmente diferenciadas:

- 1) Fase de hidrólisis y de acidogénesis.
- 2) Fase de metanogénesis.

# ARROWBIO



## 1) Fase de Hidrólisis y Acidogénesis

La mezcla orgánica acuosa introducida en el tanque de fermentación entra en contacto con microorganismos naturales que desencadenan la descomposición de la mezcla en compuestos químicos más simples.

El proceso es de flujo continuo y sometido a un control apropiado tiene una duración de unas cuatro horas. La temperatura es entre  $36^{\circ}$  y  $38^{\circ}$  C.

A medida que las partes de la mezcla orgánica alcanzan la degradación idónea, se canalizan, de manera continua, a la segunda fase biológica de metanogénesis.

# ARROWBIO

## 2) Fase de Metanogénesis

La mezcla acuosa, proveniente de la fase de acidogénesis, entra por el fondo del digestor, del tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), y fluye hacia arriba, a través de una veta biológica y granulosa de lodos que provoca la conversión de los ácidos acéticos en biogás.

En este periodo, las partículas no suficientemente digeridas fluyen continuamente por el proceso hasta conseguir una reducción apropiada del tamaño para su óptima digestión. El resultado es una producción muy baja de digerido y, consecuentemente, una producción energética excepcional.

El biogás almacenado tiene un contenido singular de metano (~75%CH<sub>4</sub> y ~25%CO<sub>2</sub>)

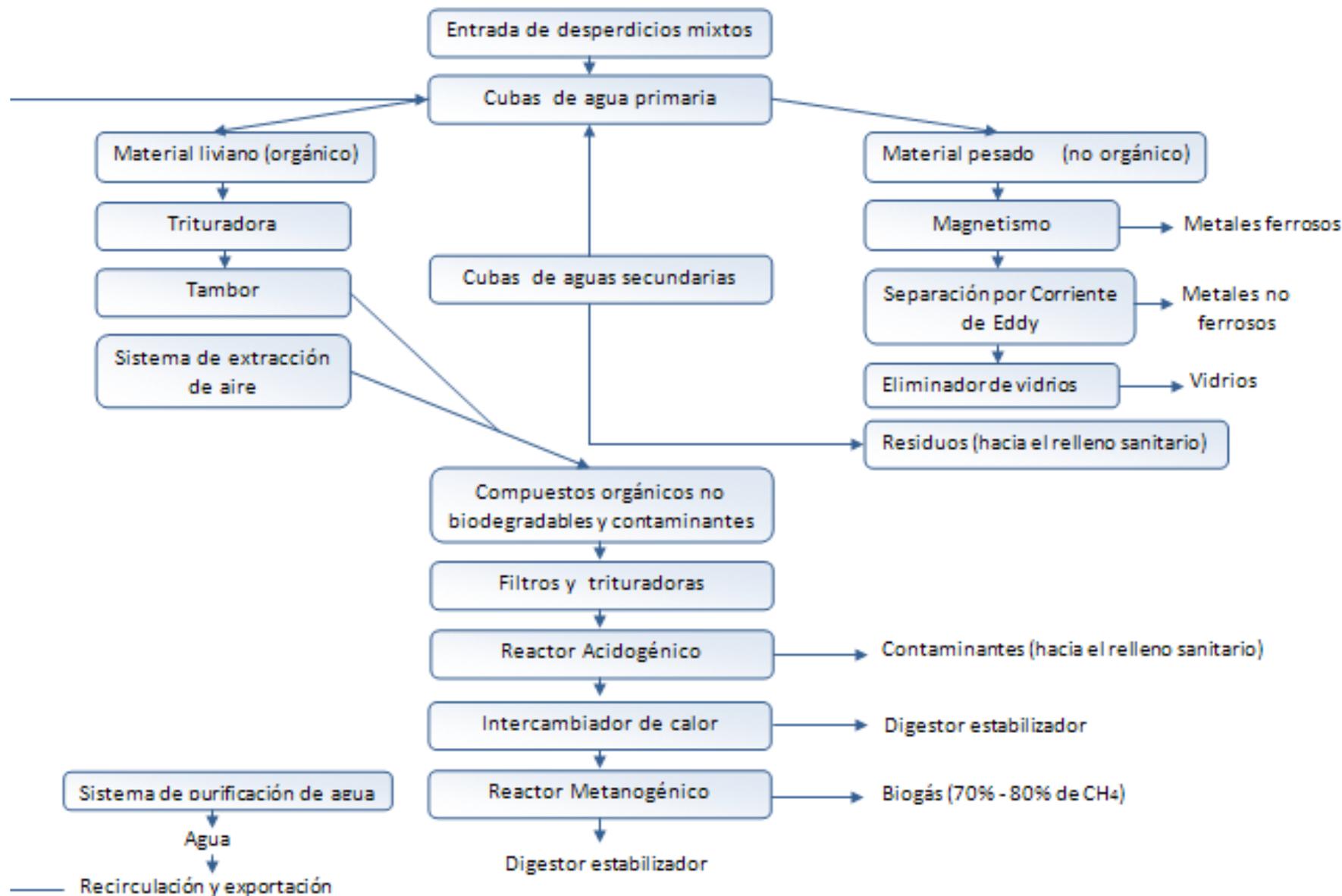


Figura #11: Diagrama de flujo de un Arobiow

# Formación de Biogás en un Relleno Sanitario

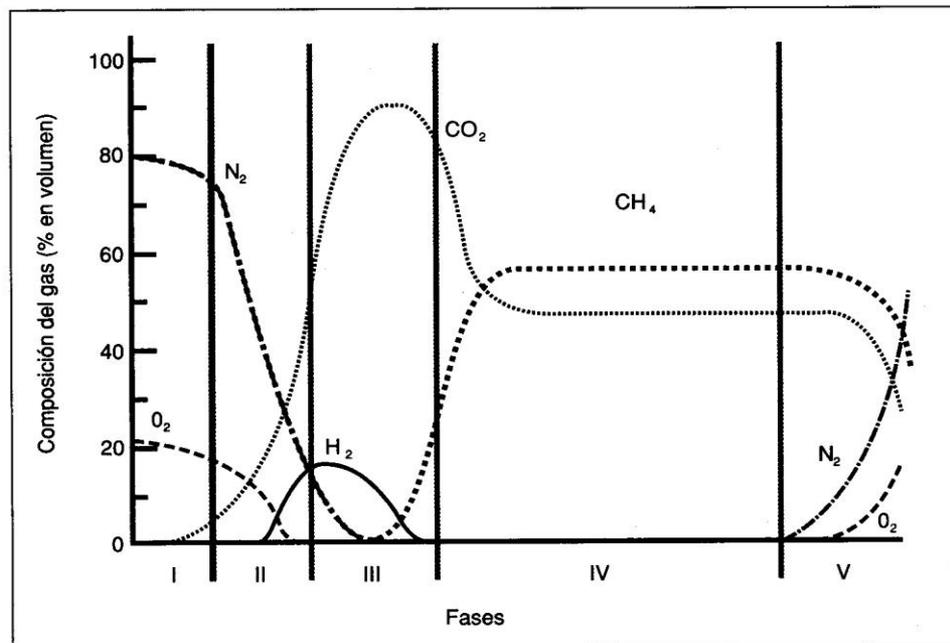
- Fase I : Condiciones aerobias
  - Es la fase inicial, en la que las sustancia fácilmente biodegradable se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- Fase II : Inicio condiciones anaerobias
  - Un proceso de digestión anaeróbica resulta de una serie de procesos metabólicos en ausencia de oxígeno molecular produciendo CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.

# Formación de Biogás en un Relleno Sanitario

- Fase III : Fase Acetogénica
  - Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético y liberando como productos hidrógeno y dióxido de carbono.
- Fase IV : Fase Metanogénica
  - En esta etapa, la mayor parte de la energía química contenida en el substrato es convertida en metano por la actuación de las *Archaea metanogénicas*. Es también la fase anaeróbica donde la producción de metano alcanza su más alto nivel, con una concentración de metano estable en el rango de 40 % a 60 % por volumen de biogás.

# Formación de Biogás en un Relleno Sanitario

- Fase V : Fase de Maduración
  - Esta fase es mucho menos activa en cuanto a la generación de gases se refiere, viene caracterizada por una disminución de la humedad y la conversión del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles.



# El biogas y sus componentes

- Es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica.
- Componentes:
  - 50% Metano ( $\text{CH}_4$ )
  - 45% Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )
  - 5% Componentes orgánicos y otros gases.

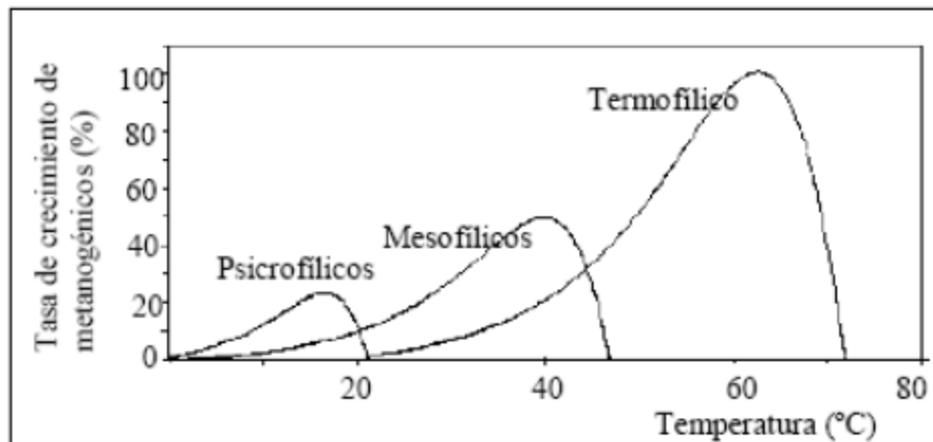
# Factores ambientales con influencia en la digestión Anaerobia

- **Temperatura**

Viscosidad y tensión superficial dependen.

- Condición Termofílico (> 45 °C )
- Condición Mesofílico (25 A 40 °C )
- Condición Psicofílica (<20 °C )

Cambio exagerado entre estas condiciones ocasiona una muerte rápida de la población metanogénica.



# Factores ambientales con influencia en la digestión Anaerobia

- **pH**

Los grupos microbianos en su etapa de:

Acidogénicos : 6

Acetógenos y metanógenos : 7

- **Solubilidad de gases**

- **Presencia de nutrientes**

Esta presente en cantidades ilimitadas siempre cuando exista diversidad de basura.

- **Compuestos tóxicos en el proceso**

Dependen del pH.

Son sensibles al amoníaco, sulfuro de hidrógeno y ácidos grasos volátiles.

# Normas básicas para la Instalación de un Relleno Sanitario Controlado

- **Contaminación del agua:** Se debe prever antes de la puesta en funcionamiento del vertedero la elección de un emplazamiento geológicamente adecuado, una instalación de drenaje para todos los líquidos que circulan en el vertedero y una instalación de tratamiento o evacuación de lixiviados.
- **Asentamiento:** La fermentación de los RSU reduce gradualmente el volumen de los mismos, lo que crea descensos en la superficie de los vertederos. El asentamiento depende del tipo de residuo, de su grado de compactación y del tipo de fermentación.
- **Producción de gases:** La viabilidad de un vertedero está condicionada al control del movimiento y disipación de los gases producidos, para lo que actualmente se controla mediante tuberías o pozos extractores del biogás para su utilización posterior y se controla mediante drenajes permeables o barreras impermeables
- **Aprovechamiento energético:** Es la extracción de biogás del vertedero con el cual se puede cubrir el consumo de energía del vertedero y de la planta de biogás.

# Disposición del residuo sólido urbano

- **Método Área**

El material de cobertura se extrae a un lugar distinto al que constituirá la superficie soporte del relleno.

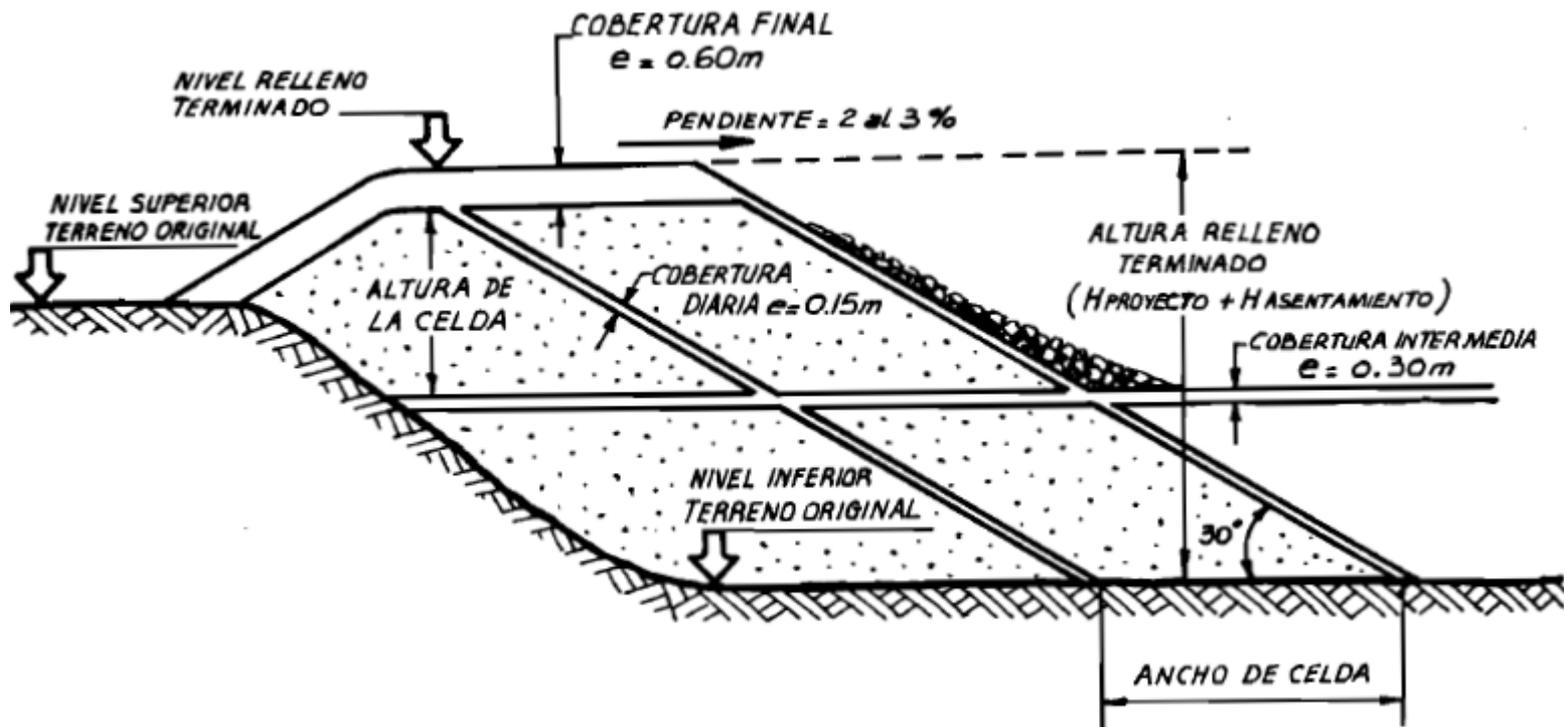
No existe condición topográfica para su utilización.

Se requiere la presencia de un sólido terraplén (natural o artificial) para compactar los residuos sobre el mismo.

Las primeras capas se construyen estableciendo unas pendientes suaves para evitar deslizamientos.

# Disposición del residuo sólido urbano

- Método Área



# Disposición del residuo sólido urbano

- **Método Trinchera**

Se utiliza en regiones planas bajo la presencia de aguas subterráneas; generalmente consiste en excavar periódicamente zanjas de 2 o 3 [mt] de profundidad.

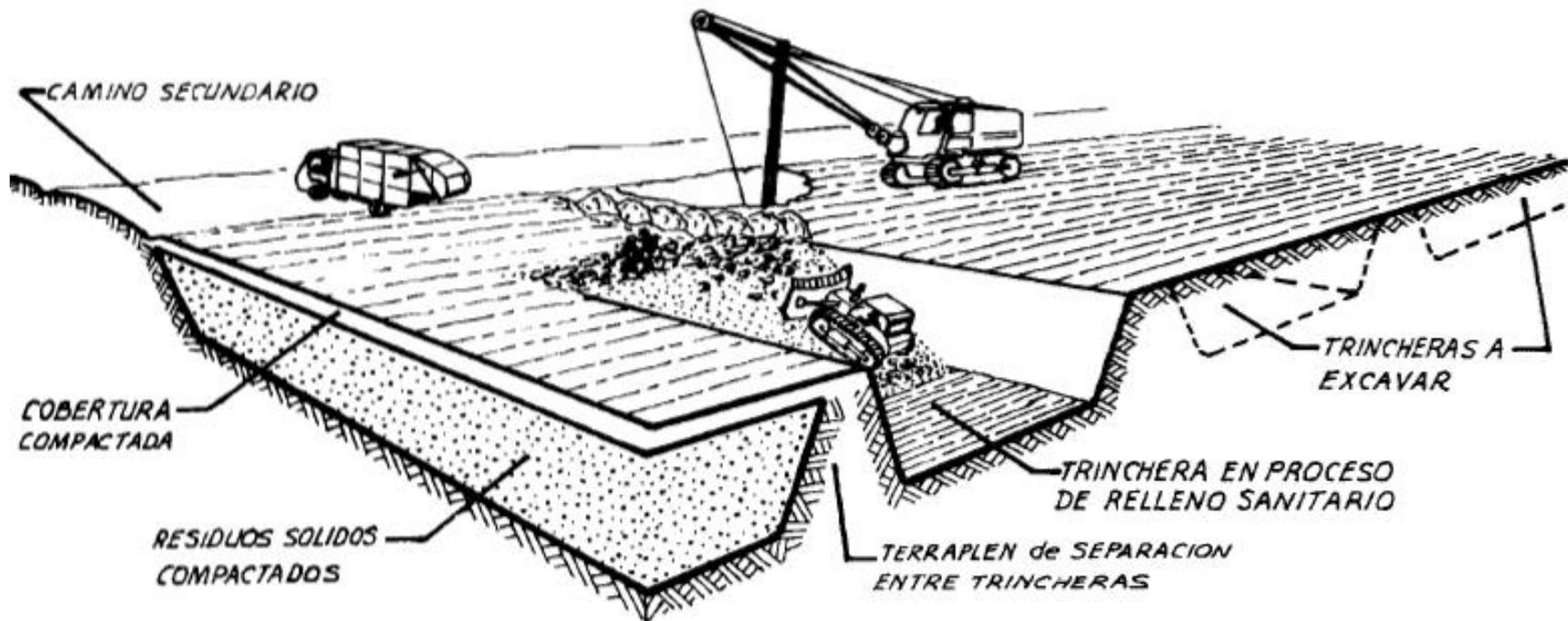
No se aplica en terrenos muy rocosos.

Se emplean equipos normales de movimiento de suelos.

El material extraíble sirve como capa de cobertura.

# Disposición del residuo sólido urbano

- Método Trinchera



# Sistemas a emplearse en un LFG

- Sistema de limpieza.
- Sistema de extracción de biogas.
- Sistema de recolección de lixiviados o percolado y drenaje de lluvias.

# Sistemas a emplearse en un LFG

- **Sistema de limpieza.**

- Aumentar el enriquecimiento del gas mediante procesos físico-químico en base de la eliminación de componentes no deseados.
- Se pueden emplear técnicas como:

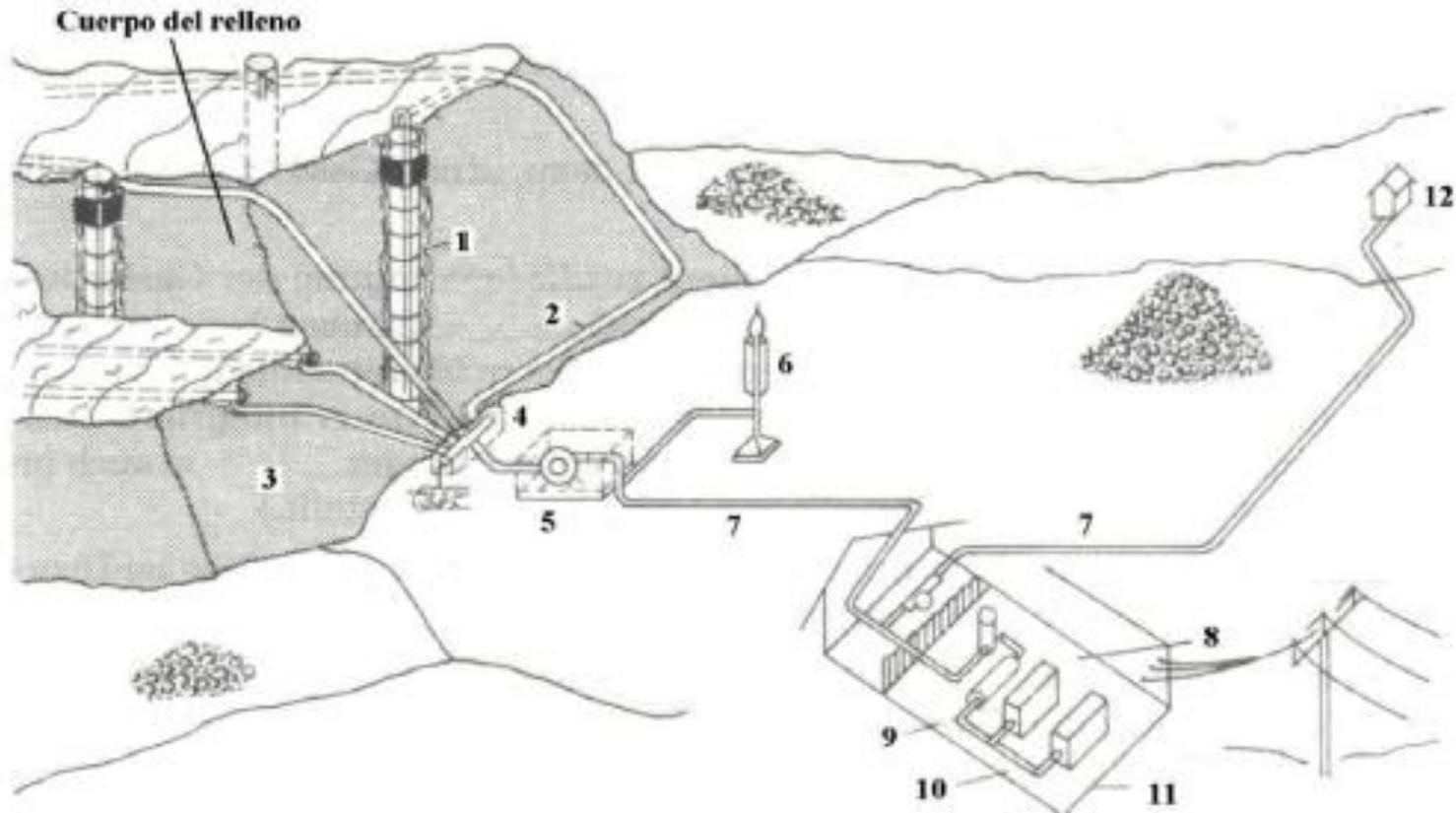
PROCESO/COMPUESTO	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CFC's
ADSORCIÓN	-	X	X	X
ABSORCIÓN (Física ó Química)	-	X	X	X
FILTRADO EN MEMBRANAS	-	X	X	X
ENFRIAMIENTO/CONDENSACIÓN	X	X	-	X

# Sistemas a emplearse en un LFG

## Sistema de Extracción de biogas

- Sistema de drenaje Activo

Consiste en la succión del gas mediante un soplador.



# Sistemas a emplearse en un LFG

## Sistema de Extracción de biogas

- Sistema de drenaje Activo

Partes que componen :

- 1) Pozos de desfogue
- 2) Colector de gas
- 3) Talud del relleno
- 4) Punto de recepción
- 5) Soplador (compresor)
- 6) Incinerador (Antorcha)
- 7) Tubería de transporte gas pobre
- 8) Líneas de transmisión energía eléctrica
- 9) Planta de tratamiento del biogás
- 10) Motogenerador gas-energía eléctrica
- 11) Casa de máquinas
- 12) Consumidor gas pobre.

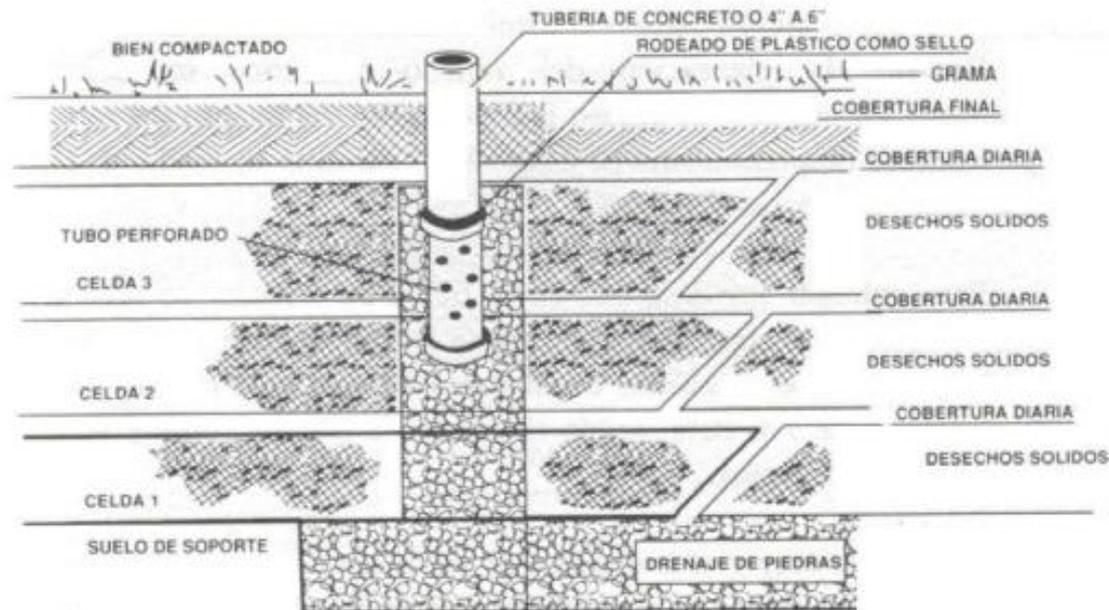
# Sistemas a emplearse en un LFG

## Sistema de Extracción de biogás

- Sistema de drenaje Pasivo

Se controla la difusión natural de los gases, con el fin de evacuarlos solo por los lugares previstos.

Más económico.



# Sistemas a emplearse en un LFG

## Sistema de Extracción de biogas

Porcentaje de gas de relleno que se puede captar (%)	Tipo de relleno
0	Relleno sin ningún sistema de drenaje de gas
10 – 20	Relleno con drenaje puntual pasivo (chimeneas u orificios), mal compactado y sin cobertura suficiente.
25 – 50	Relleno con drenaje activo (soplador), mal compactado y sin cobertura suficiente
30 – 60	Relleno con drenaje pasivo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente
40 - 70	Relleno con drenaje activo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente
70 - 100	Relleno cerrado con taludes y capa final impermeable y bien compactada, drenaje pasivo o activo

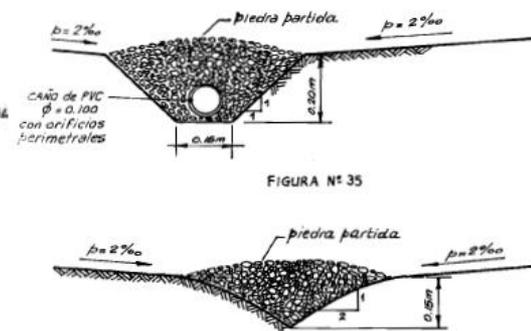
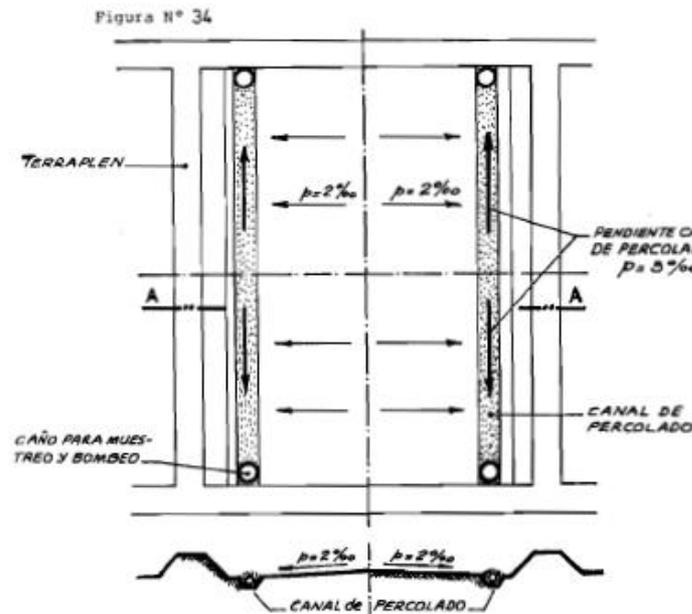
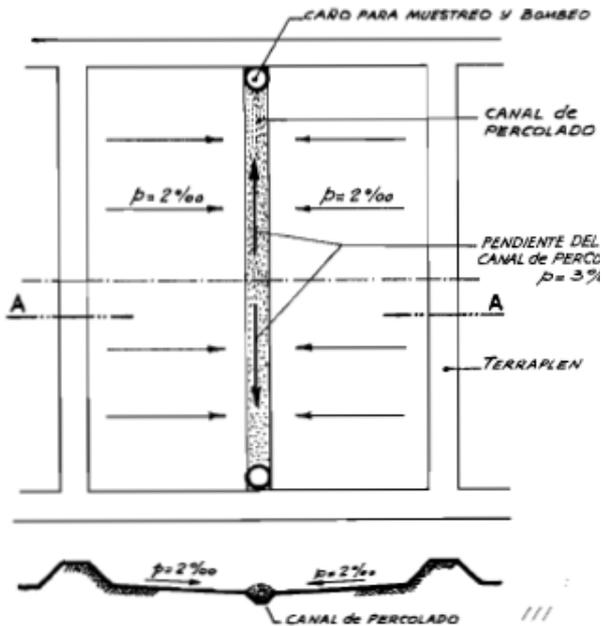
# Sistemas a emplearse en un LFG

- **Sistema de recolección de lixiviados**

- Verificar que las aguas subterráneas y superficiales cercanas no estén siendo utilizadas para el consumo humano o animal.
- Establecer una altura mínima de 1.0 - 2.0 m (depende de las características del suelo) entre la parte inferior del relleno y el nivel de agua subterránea.
- Tratar de contar con un suelo arcilloso o en su defecto impermeabilizar la parte inferior mediante una capa de arcilla de 0.30 - 0.60 m.
- Interceptar, canalizar y desviar el escurrimiento superficial y los pequeños hilos de agua, a fin de reducir el volumen del líquido percolado, y de mantener en buenas condiciones la operación del relleno.
- Construir un sistema de drenaje para posibilitar la recolección del líquido percolado y facilitar su posterior tratamiento en caso necesario.
- Cubrir con una capa de tierra final de unos 0.40 a 0.60 m, compactar y sembrar las áreas del relleno que hayan sido terminadas con pasto o grama para disminuir la infiltración de aguas de lluvias.

# Sistemas a emplearse en un LFG

## Sistema de recolección de lixiviados



# Sistemas a emplearse en un LFG

- **Sistema de escape de gases**
- El gas metano a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen, por lo que es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases.
- El drenaje de gases está constituido por un sistema de ventilación en piedra o tubería perforada de concreto (revestida en piedra), que funcionará a manera de chimeneas o ventilas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie. Estas chimeneas se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno, procurando siempre una buena compactación a su alrededor; se recomienda instalarlas cada 20 ó 50 m, con un diámetro entre 0.30 y 0.50 m cada una, de acuerdo con el criterio del ingeniero.

# Producción de Energía Eléctrica

- **Generador a gas:**
  - ▶ Motor a diesel adaptado para funcionar con biogas.
  - ▶ Motor para biogas.
- **Calderas y turbinas.**



Generador con motor Diesel adaptado



Generador con motor para Biogas

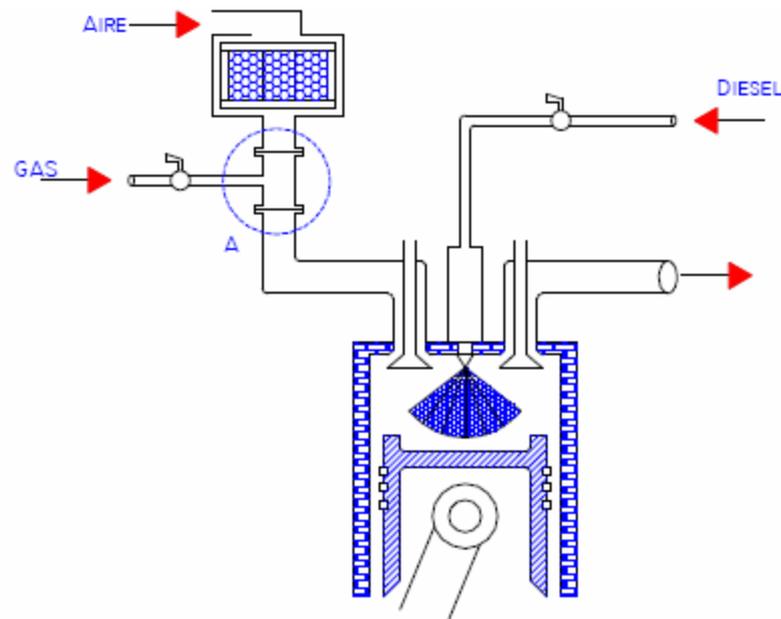
# Producción de Energía Eléctrica

- **Generadores a Gas con motor Diesel:**

En el caso de los motores diesel, el biogas puede reemplazar hasta el 80% del gas-oil.

La baja capacidad de ignición del biogas no permite reemplazar la totalidad del gas-oil en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión.

El gas es succionado junto con el aire de combustión hacia el cilindro



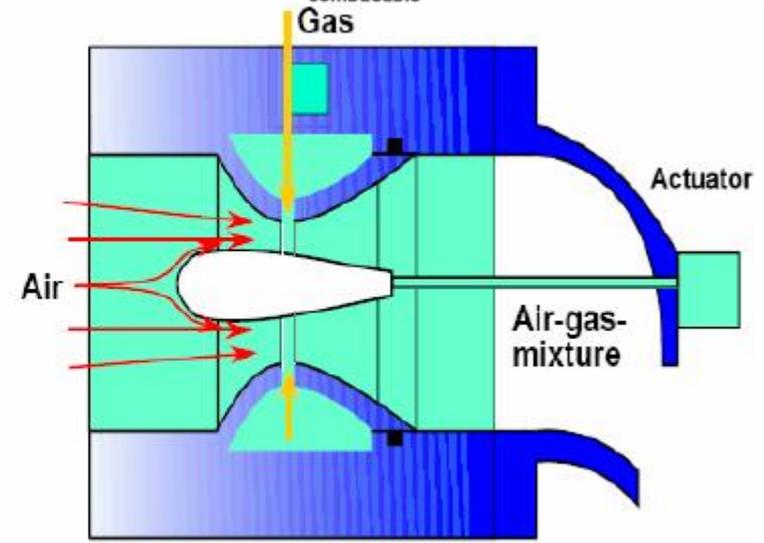
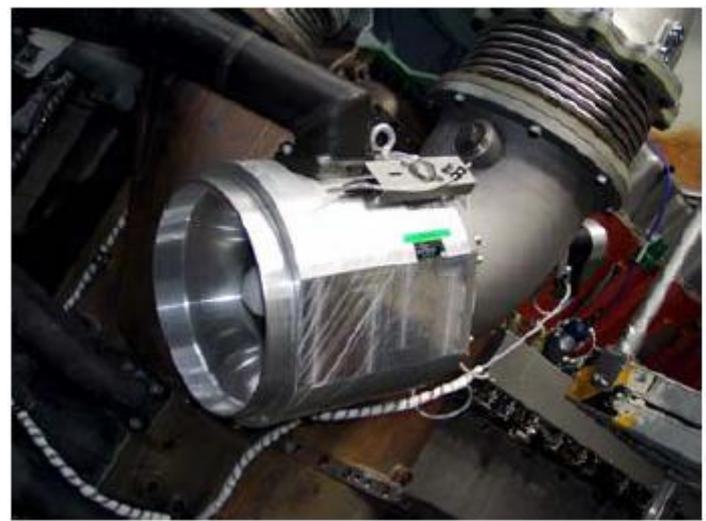
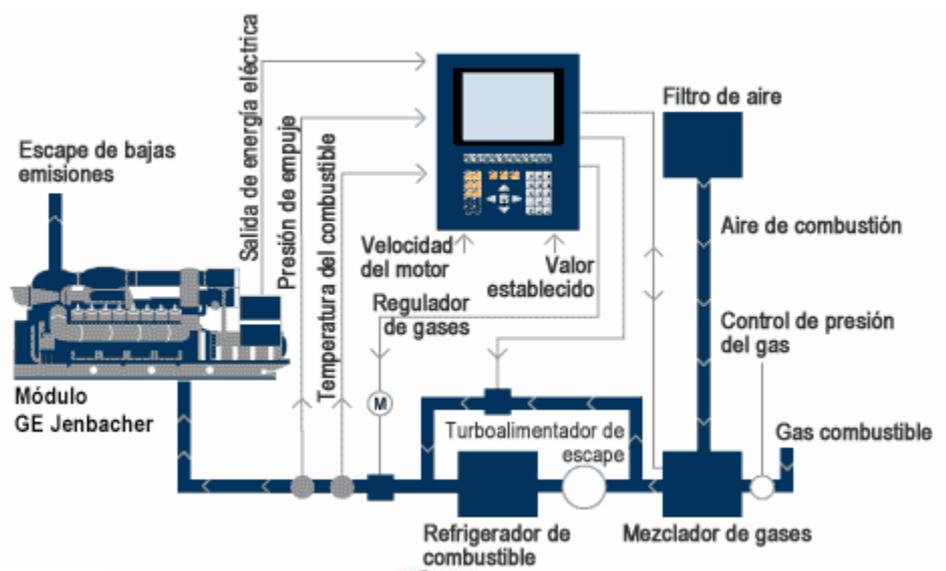
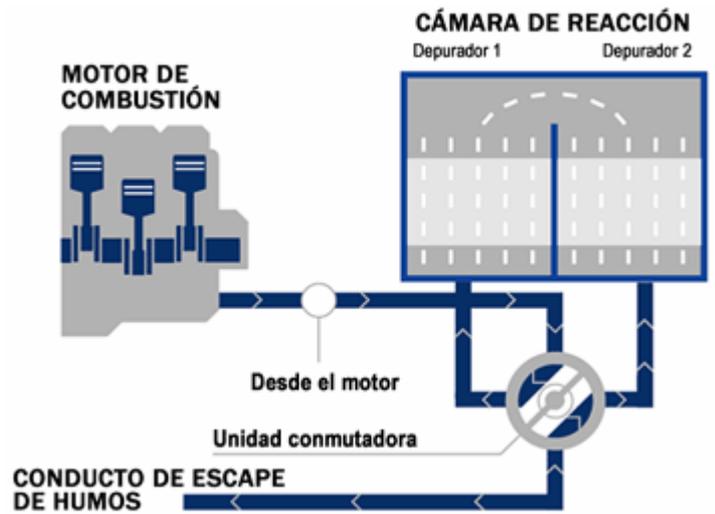
# Producción de Energía Eléctrica

- **Generadores a Gas con motor Diesel:**

Dispositivos para adaptar los motores para la utilización de biogas:

- Filtro para la captación del sulfuro de hidrógeno en el biogas
- Sistema de encendido electrónico
- Sistema de tratamiento de gases de escape
- Control de combustión
- Mezclador de Aire-Biogas

# Producción de Energía Eléctrica



# Producción de Energía Eléctrica

- Caldera y turbina

Una turbina de vapor transforma la energía del flujo de vapor de agua en energía mecánica. Al pasar por las toberas de la turbina, se reduce la presión del vapor (se expande) aumentando así su velocidad. Este vapor a alta velocidad es el que hace que los álabes móviles de la turbina giren alrededor de su eje al incidir sobre los mismos.



# Relleno sanitario “Las Iguanas”



# Relleno sanitario “Las Iguanas”

## Características:

Pertenece a la MI Ilustre municipalidad de Guayaquil y esta administrado por ILM bajo concesión para la disposición final de los desechos sólidos desde 1994. esta ubicada en el km 14.5 vía a Daule y cuenta con 4 sectores

Sector A.-28.69 HA

Sector B.- para deposito de materia inerte

Sector C.- 13.63HA

Sector D.- empezó a recibir desecho  
en Octubre 2,006, ocupará 40.71 Ha.

Total del terreno: 190 Ha

Los tres diferentes sectores están separados por caminos de acceso internos, pavimentados.

En el relleno sanitario se esta depositando un aproximado de 850000 toneladas de desechos sólidos anuales y se espera que para el 2021, fecha en la que se estima el serrado del relleno se tengan un aproximado de 23 millones de toneladas de desechos sólidos en el lugar.

# Relleno sanitario “Las Iguanas”

- *Temperatura:* 17 hasta 35 [°C].
- *Tierra con coeficiente de permeabilidad:*  $1 \cdot 10^{-7}$ .
- *Topografía:* Presenta pequeñas cuencas
- *Profundidad de los desechos:*  
A=40 [mt] ; B=35 [mt] ; C=50 [mt].
- *Toneladas de desecho:* 942410 [ton/año], se espera un incremento del 3,5%.
- *Nivel de compactación:* 1 [ton/m<sup>3</sup>]

# Relleno sanitario “Las Iguanas”

## Características:

*Sistema de extracción de gases:*

Pozos verticales y horizontales.

1[mt] de diámetro de malla galvanizada.

3 [mt] de longitud, cada 20 a 50 mt.

*Sistema de lixiviados*

En cada nivel: 5[mt].

Evacuan en 7 diferentes lagunas.

Conducto triangular rodeado de una membrana geo-permeable.

# Estudio económico del proyecto de aprovechamiento de metano en el relleno sanitario “Las Iguanas”

## Factibilidad económica

- Ingresos
  - Aprovechamiento del metano
  - Generación de energía eléctrica y su venta al SNI
  - Venta de certificados de emisiones de carbono
- Egresos
  - Costos de inversión del proyecto
  - Costos de operación del proyecto

# Estimación de generación de metano en el relleno sanitario “Las Iguanas”

Estudio preliminar realizado por la U.S. EPA, las empresas Eastern Research Group, Inc. , Carbon Trade Ltd. y Methane Markets, bajo contrato para el Municipio de Guayaquil en abril del 2007 revelan durante una revisión inicial que el potencial de generación de biogás en el Relleno Las Iguanas para el 2007 es de alrededor de 8479 m<sup>3</sup>/hr y para el 2021 se podría alcanzar una producción de biogás de hasta 17824 m<sup>3</sup>/hr con una concentración de 50% de metano.



# Calculo de generación de biogás según modelo ecuatoriano

La U.S. EPA luego de su estudio sugirió la realización de un modelo ecuatoriano que considere las condiciones de humedad y las precipitaciones anuales que se dan en el país.

Por este motivo bajo contrato EPA EP-W-06-022 la Carbon Trade Ltd Latinoamérica elaboró un modelo específico de biogás de Ecuador.



# Ecuación de primer orden

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

## 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.
- $t_{lag}$ : Tiempo estimado entre el depósito del desecho y la generación de metano.
- %vol: Porcentaje volumétrico estimado de metano en el biogás del relleno
- $L_o$ : 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).

# Estimación de biogás generado

Según estos datos y teniendo en cuenta que Guayaquil presenta una precipitación de 1080 mm por año, según la [www.worldclimate.com](http://www.worldclimate.com) se escogió:

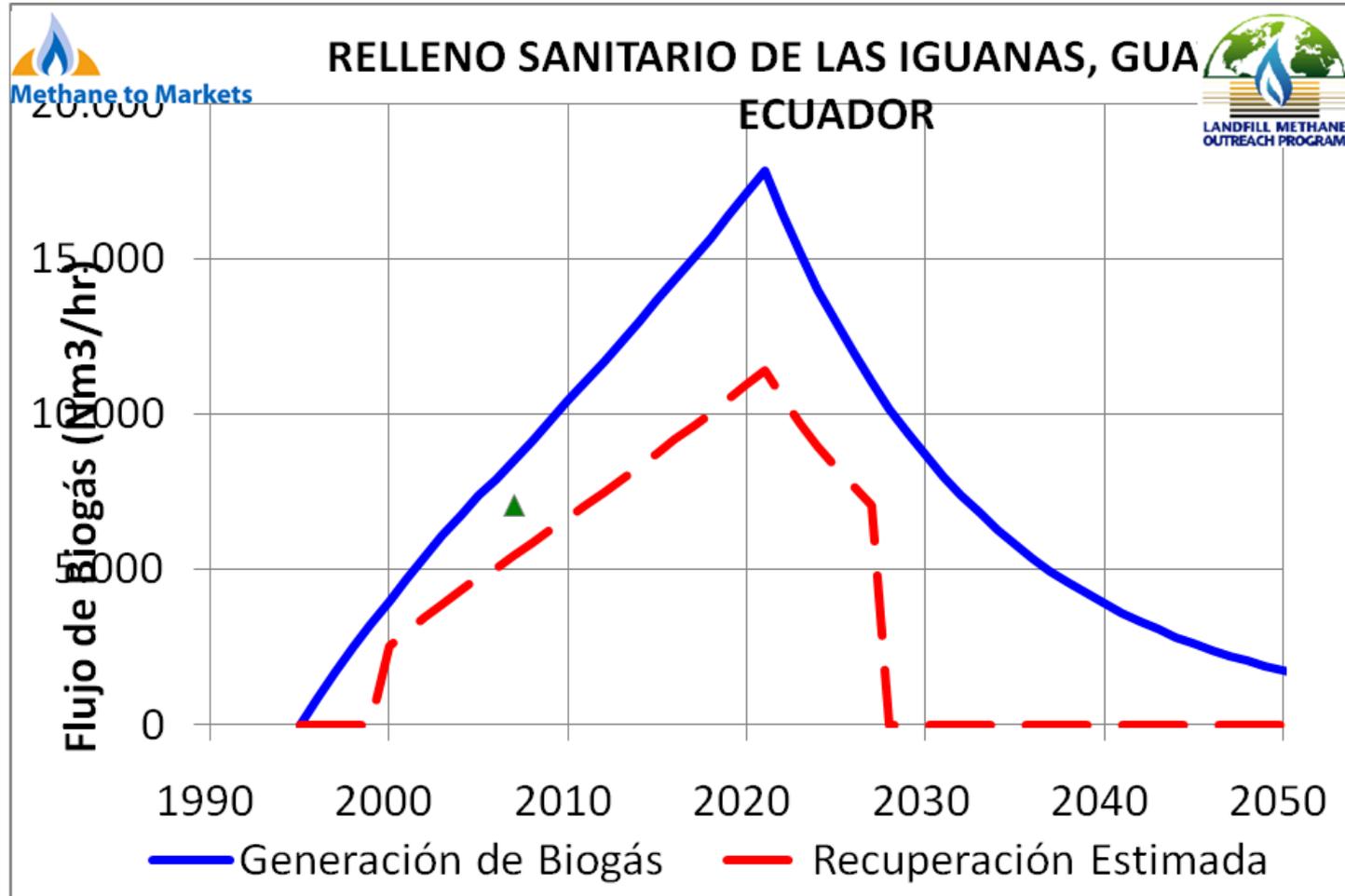
Categoría de Desecho	Composición %
Comida	58.90%
Papel y Cartón	9.70%
Plásticos	8.00%
Metal	2.60%
Vidrio	2.40%
Recorte de grama, abono	0%
Desecho de construcción, incluyendo caucho	9.80%
Desecho de Jardín	1.70%
Madera (Leña y troncos de árboles)	4.70%
Lodos de aguas residuales	no hay dato

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

# Resultados de generación de biogás del modelo ecuatoriano

Proyección de generación y recuperación de biogás en el relleno sanitario de las Iguanas, Guayaquil, Ecuador										
Año	Indice 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)	mBTU/año	(%)	(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /hr)	mBTU/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

# Estimación de biogás generado y recuperado :Modelo ecuatoriano



# Producción de Energía Eléctrica en base al biogas recuperado

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

La energía disponible para la venta, teniendo en cuenta que  $1 \text{ m}^3 \approx 1.7 \text{ kWh}$  con una eficiencia de 30% en la conversión de energía térmica a energía eléctrica.

$$1 \text{ m}^3 \times 20 \text{ MJ} / \text{m}^3 \times 1 \text{ KWH} / 3.6 \text{ MJ} \times 0.3 = 1.7 \text{ KWH}$$

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

Donde en el factor de BTU a KWH se considera la eficiencia de conversión de energía térmica a eléctrica.

# Estimación de toneladas equivalentes de CO2 no enviadas a la atmosfera.

años	Promedio m3/hr disponible a 50% CH4	MASA DE METANO CAPTURADO	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

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 CO2.

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

# Ingresos del proyecto

## VENTA DE CERTIFICADOS DE CARBONO

Los precios en el ecuador oscilan entre \$5 y \$10 dólares por certificado.

Para nuestro estudio se considero un valor de \$ 10 por certificado. Teniendo los resultados mostrados.

años	Promedio m3/hr disponible a 50% CH4	TONELADA	valor percivido 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

# Venta de la energía eléctrica generada al SNI

- **Conexión a la red del Relleno sanitario “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.

- **Marco legal de la venta de energía.**

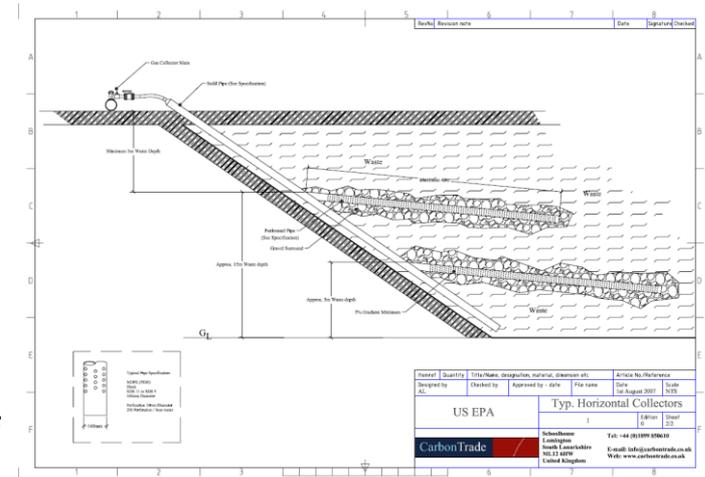
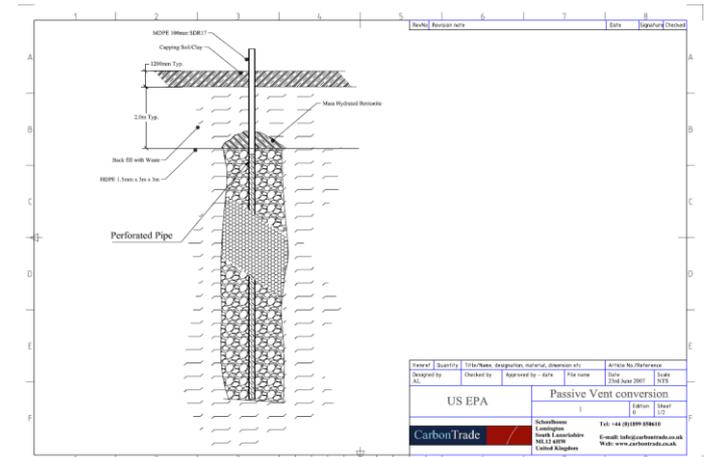
En nuestro país se está haciendo énfasis en la utilización de energías renovables. Dando preferencias y ventajas a los proyectos MDL que el CONECEL según resolución 009/006 dictaminó.

- **PRECIO DE LA ENERGÍA.-** Para centrales de biomasa \$0.0967 y \$0.1064 en el ecuador continental y Galápagos respectivamente
- **VIGENCIA DE LOS PRECIOS.-** Los precios 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
- **POTENCIA LÍMITE.-** 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.
- **PAGO DE POTENCIA.-** No se reconocerá pago por potencia a la producción de las centrales no convencionales.

# Gastos del proyecto

## Costos estimados en el Sistema de extracción de Gas

COSTOS ESTIMADOS EN EL SISTEMA DE EXTRACION DE GAS	
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>



Pozo vertical y pozo horizontal (fuente estudio de perfectibilidad económica de Methane to markets, apéndice V, pagina 81)

# Gastos del proyecto

- **Costos del equipo de generación**

COSTOS DE EQUIPO GENERACIÓN	
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>

# Gastos del proyecto

- **Costos de operación y mantenimiento**

COSTOS DE OPERACIÓN MANTENIMIENTO	
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
total de mantenimiento y operación	\$ 1.928.917,06

# Desarrollo del modelo financiero

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

Parámetros económicos	
Inflación	3%
Inversión total	8402049,02
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%

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

## VIDA ÚTIL DEL PROYECTO - CORRIDA ECONÓMICA SIN PRÉSTAMO

DA	OB	2008	2009	2010	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
<b>INGRESOS</b>													
POTENCIA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ENERGÍA		8.150.664,45	8.150.664,45	8.150.664,45	4.039.931,20	4.039.931,20	4.039.931,20	4.039.931,20	4.039.931,20	4.039.931,20	4.039.931,20	4.039.931,20	
CARBONO		549,80	588,72	627,55	1.029,69	1.073,26	990,70	914,53	844,24	779,36	719,45	664,13	
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>		<b>8.151.214,26</b>	<b>8.151.253,17</b>	<b>8.151.292,00</b>	<b>4.040.960,89</b>	<b>4.041.004,47</b>	<b>4.040.921,90</b>	<b>4.040.845,73</b>	<b>4.040.775,44</b>	<b>4.040.710,56</b>	<b>4.040.650,65</b>	<b>4.040.595,33</b>	
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>													
		4.139.224,41	4.238.195,00	4.340.134,70	4.703.612,98	4.844.721,37	4.990.063,01	5.139.764,90	5.293.957,85	5.452.776,58	5.616.359,88	5.784.850,68	
<b>BENEFICIOS BRUTOS</b>		<b>4.011.989,85</b>	<b>3.913.058,17</b>	<b>3.811.157,31</b>	<b>(662.652,09)</b>	<b>(803.716,90)</b>	<b>(949.141,11)</b>	<b>(1.098.919,17)</b>	<b>(1.253.182,41)</b>	<b>(1.412.066,02)</b>	<b>(1.575.709,23)</b>	<b>(1.744.255,35)</b>	
AMORTIZACIÓN		420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	
SUBENCIONES													
BAT		3.591.887,40	3.492.955,72	3.391.054,86	(1.082.754,54)	(1.223.819,35)	(1.369.243,56)	(1.519.021,62)	(1.673.284,86)	(1.832.168,47)	(1.995.811,68)	(2.164.357,80)	
UTILIDAD PARA TRABAJADORES		538.783,11	523.943,36	508.658,23	-	-	-	-	-	-	-	-	
BASE IMPONIBLE		3.053.104,29	2.969.012,36	2.882.396,63	(1.082.754,54)	(1.223.819,35)	(1.369.243,56)	(1.519.021,62)	(1.673.284,86)	(1.832.168,47)	(1.995.811,68)	(2.164.357,80)	
IMPUESTOS A LA RENTA		763.276,07	742.253,09	720.599,16	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>BENEFICIO NETO</b>		<b>2.289.828,21</b>	<b>2.226.759,27</b>	<b>2.161.797,47</b>	<b>(1.082.754,54)</b>	<b>(1.223.819,35)</b>	<b>(1.369.243,56)</b>	<b>(1.519.021,62)</b>	<b>(1.673.284,86)</b>	<b>(1.832.168,47)</b>	<b>(1.995.811,68)</b>	<b>(2.164.357,80)</b>	
AMORTIZACIÓN		420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	420.102,45	
INVERSIÓN SIN DONACIÓN (100%)	5.881.434,31	2.520.614,71											
INVERSIÓN CON DONACIÓN (30%)	4.117.004,02	1.764.430,29											
<b>CASH FLOW: PROYECTO SIN PRÉSTAMO (100%)</b>	<b>(5.881.434,31)</b>	<b>(2.520.614,71)</b>	<b>2.709.930,67</b>	<b>2.646.861,72</b>	<b>2.581.899,92</b>	<b>(662.652,09)</b>	<b>(803.716,90)</b>	<b>(949.141,11)</b>	<b>(1.098.919,17)</b>	<b>(1.253.182,41)</b>	<b>(1.412.066,02)</b>	<b>(1.575.709,23)</b>	<b>(1.744.255,35)</b>
<b>CASH FLOW: PROYECTO SIN PRÉSTAMO (30%)</b>	<b>(4.117.004,02)</b>	<b>(1.764.430,29)</b>	<b>2.709.930,67</b>	<b>2.646.861,72</b>	<b>2.581.899,92</b>	<b>(662.652,09)</b>	<b>(803.716,90)</b>	<b>(949.141,11)</b>	<b>(1.098.919,17)</b>	<b>(1.253.182,41)</b>	<b>(1.412.066,02)</b>	<b>(1.575.709,23)</b>	<b>(1.744.255,35)</b>

### Parámetros económicos

Inflación	3%
Inversión total	8402049,02
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%

EVALACIÓN DEL PROYECTO SIN PRÉSTAMO (100%) (CO=8%)	
VAN:	6.323.785,47
TIR:	23%

EVALACIÓN DEL PROYECTO SIN PRÉSTAMO (30%) (CO=8%)	
VAN:	8.788.386,52
TIR:	34%

# MODELO FINANCIERO SIN ACOGERSE A LA NORMATIVA 009/06

Al no acogerse a la normativa 009/006 del CONELEC para centrales no convencionales, se considera los ingresos de cobro por potencia instalada al precio de 5,70 USD /kW-mes según resolución 007/10 del CONELEC, y un precio de \$0.04 por KWh vendido

Parámetros económicos	
Inflación	3%
Inversión total	8419506,38
Vida Útil	20
precio de potencia [\$/MW]	5700
Precio de energía [\$/MWH] POR 12 AÑOS	47,9
Precio de la energía des pues de 12 años [\$/mwh]	47,9
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%

# INDICADORES ECONÓMICOS

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%								

A el precio de \$0.060378/KWH se tiene un VAN=\$13.64 y TIR=8%