

SEMINARIO INTERNACIONAL GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS, SIGLO XXI

VALORACIÓN DEL BIOGAS EN UN RELLENO SANITARIO

Ing. Félix Schmidt, CSD Ingenieros Consultores, CH. de Maillefer 36,
CH-1052 Le Mont-sur-Lausanne, Suiza, www.csd.ch
Tel: ..41 21 647 12 41, Fax: .. 41 21 647 12 47, E-mail: f.schmidt@csd.ch

Resumen

El biogas producido por la degradación anaeróbica de los residuos representa un yacimiento de energía importante, en forma de metano (CH_4). La destrucción del metano en CO_2 por incineración es útil para reducir el efecto invernadero del biogas así como para disminuir los olores. La valoración energética necesita técnicas de captación del biogas (pozos, drenes, coberturas, etc.) que pueden ser sencillas, realizados con tecnologías apropiadas. La valoración en forma térmica es la más rentable y simple si hay grandes usuarios en la vecindad (fabricas de ladrillos o tejas, destrucción de carne o de desechos infecciosos, lavanderías industriales, desecación de productos, etc.). Si no es el caso, la transformación en electricidad se puede hacer también pero necesita un mantenimiento continuo y profesional. Su rentabilidad depende en primer lugar del precio de la electricidad. Sin embargo, los beneficios de la valoración del biogas no bastan generalmente para cubrir los costos de explotación del relleno sanitario.

Producción de biogas

El biogas es producido por la degradación anaeróbica (sin oxígeno) de la materia orgánica: cuando los desechos son dispuestos en un relleno sanitario, primero se pasa a una fase de degradación aeróbica (con oxígeno) pero muy rápidamente el oxígeno presente en el cuerpo de los desechos es consumido y empieza la degradación anaeróbica.

Se consideran dos fases principales de degradación anaeróbica :

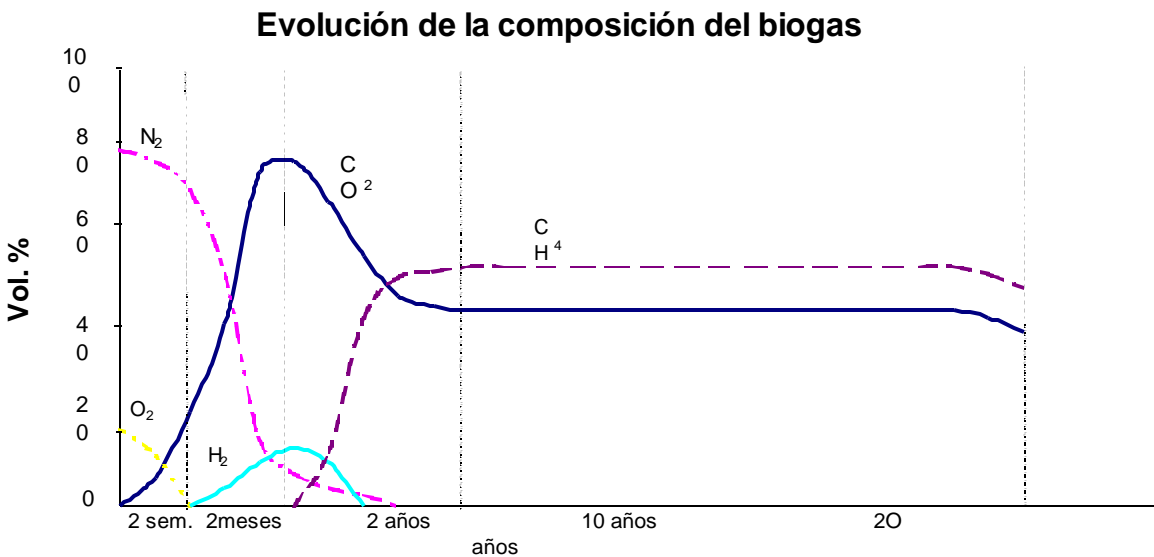
La primera fase es la fase ácida, después viene la fase de metanización en la cual se produce el metano que nos interesa.

En esta última fase, el biogas esta compuesto principalmente por:

- El metano (CH_4), entre 30 y 70 % del volumen (promedio 55 %), el cual tiene un poder calorífico muy elevado de 9.90 KWh/Nm³ (35.6 MJ/Nm³ - 11974.7 Kcal/Kg)

- El gas carbónico (CO_2), el resto del volumen, es neutral.

Estos gases no son tóxicos y no tienen olor, pero el biogas transporta también otros gases en cantidades ínfimas pero que pueden tener un olor muy fuerte y desagradable aún en proporciones mínimas y también pueden ser tóxicos: hidrógeno sulfuroso H_2S , mercaptanos, etc.). Son estos gases los que producen este olor típico en los rellenos sanitarios y los botaderos a cielo abierto, y no el biogas mismo.



Estos gases pueden también ser muy corrosivos para las instalaciones de valoración del biogas. En efecto, la presencia de estos gases hace que el comportamiento del gas de relleno sea muy distinto del gas de fermentación de lodos en una instalación de metanización.

También el gas captado en un relleno sanitario puede ser mezclado con una cierta proporción de aire atmosférico, incluyendo nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), creando un gas explosivo si la proporción O_2/CH_4 es grande.

En un relleno nuevo, la producción de biogas puede empezar después de varios meses, pero en rellenos existentes, se nota generalmente una producción de biogas ya después de unas semanas.

La cantidad total de biogas que es producido por los desechos depende de su composición y muy directamente de la proporción de materia orgánica degradable, que depende de los tipos de desechos.

Generalmente esta proporción de materia orgánica no es conocida, pero se pueden considerar unos 25 a 30 % de carbono en los desechos urbanos:

Desechos	Proporción de carbono orgánico (% de la materia seca)
Desechos urbanos (Ginebra)	259 kg C/t
Desechos vegetales, alimenticios	450 Kg C/t
Carne	600 Kg C/t
Papel	440 Kg C/t
Cartón	470 Kg C/t
Plástico	420-850 Kg C/t
Madera	500 Kg C/t

Generalmente sólo una fracción de este carbono se considera como degradable.

Los principales factores que influyen sobre la producción del biogas en el tiempo son los siguientes :

- **Cantidad, calidad y edad** de los desechos dispuestos: Después de un incremento rápido, la producción de un metro cúbico de desechos disminuye regularmente. Según los tipos de desechos, se consideran 3 tipos de velocidad de degradación del carbono:

Velocidad de degradación	Vida Media
Degradación rápida : desechos vegetales, alimenticios	1.5-2 años
Degradación rápida : desechos vegetales, alimenticios	5-10 años
Degradación lenta : cartón, madera, cuero	10-20 años o más

Según la composición media de los desechos, se puede estimar la repartición y la degradabilidad media del carbono.

- **Agua:** La presencia de agua es un factor necesario de la producción de biogas: si falta agua, la producción de biogas disminuye rápidamente y hasta acaba (desiertos). Pero al contrario no es cierto: un aumento de la cantidad de agua no influye significativamente sobre la producción de biogas. Si falta agua, en un sistema de refiltración de las aguas negras, en los desechos puede aumentar mucho la producción de gas así como disminuir el problema y los costos de la eliminación de estas aguas.
- **Temperatura:** la temperatura al interior del cuerpo del relleno influye fuertemente la velocidad de degradación de estos y la producción de gas. A mayor temperatura es más fuerte y rápida la producción de biogas.

- **Productos químicos:** la mezcla de desechos industriales puede limitar o a veces aumentar la velocidad de la producción de biogas: la presencia de ácidos o bases, de metales pesados o de desechos tóxicos puede disminuir o suprimir parcialmente la producción. Al contrario, la presencia de lodos orgánicos (lodos provenientes del tratamiento de aguas negras) pueden acelerar la producción.
- **Estado físico** de los desechos: una buena compactación o una reducción del tamaño de los desechos pueden aumentar también la producción de biogas.

Duración de la producción

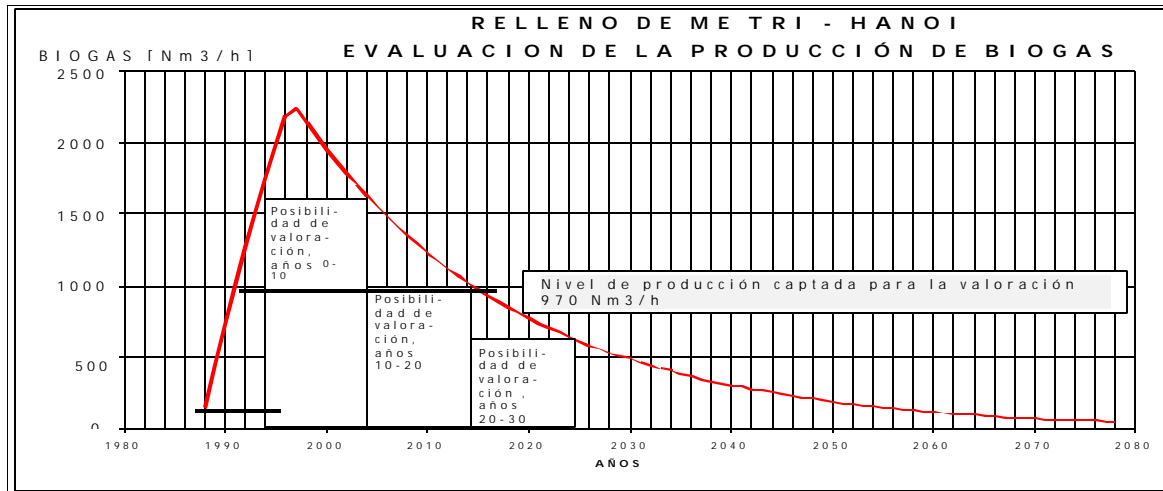
La producción total del biogas dada por la composición de los desechos y la duración de la producción depende de los factores mencionados. En clima templado, se cuenta una producción fuerte durante 10 a 20 años después del depósito de los desechos. La producción en el tiempo forma una curva en campana, disminuyendo hasta cero en forma asintótica. En zona fría, la producción puede ser más larga y en países calientes más corta.

Conociendo la historia de un relleno, y los pronósticos de desarrollo, es decir las cantidades y cualidades de los desechos dispuestos, se puede desarrollar un modelo de cálculo para estimar la producción en el tiempo futuro. Si se conocen datos de producción de sólo en raras ocasiones, y cuando se dispone de instalaciones de captación e incineración), el modelo puede ser calibrado. En otros casos, se hacen varias hipótesis para ver la variación posible de la estimación de producción con la variación de estas hipótesis.

Antes de invertir en un sistema de valoración del biogas, es importante verificar los pronósticos de producción para los próximos años.

Por ejemplo, el pronóstico de producción de biogas del relleno Me Tri, en Hanoi da la evaluación siguiente:

- Aportes anuales estimados 125.000 t
- Duración 1996 – 1998
- Carbono orgánico por tonelada 200 kg C/t
- Proporción Metano/gas carbónico 50%/50%



En este caso, la producción máxima estimada era de 2.200 Nm³/hora. Por seguridad la propuesta de valoración es basada en un primer equipo de unos 1.000 Nm³/hora.

Riesgos, efecto sobre el medio ambiente

El biogás producido por un relleno sanitario crea peligros importantes en los cuales se tiene que insistir cada vez que sea posible:

Riesgos de asfixia: La producción de biogás crea una presión al interior del relleno, lo que significa que el gas sale por todos lados por donde puede salir fácilmente (y no sólo de abajo por encima como ocurre en un vaso de coca cola, como se cree muy a menudo): eso significa que todas las canalizaciones, pozos, excavaciones, fracturas en el terreno, hasta los subsuelos de las casas al rededor pueden ser llenados de biogás y presentar una ausencia total de oxígeno: es muy importante controlar la presencia de oxígeno antes de bajar en cualquier pozo o excavación a proximidad inmediata de un relleno sanitario. Una vez que el accidente viene (3 minutos bastan, no se siente la ausencia de oxígeno), es generalmente demasiado tarde para salvar a la víctima y regularmente los que van a socorrerlo mueren también.

Riesgos de explosión: la mezcla del biogás con el oxígeno del aire atmosférico puede crear, en lugares cerrados, un sistema explosivo. Esto pasa rara vez, pero puede suceder sobre todo en zonas encerradas (construcciones, pozos). El riesgo es mas importante donde hay fuegos.

Riesgos de fuegos: Con el poder calorífico importante del metano, el fuego prende rápidamente. Tiene que ser apagado con tierra o material pesado y NO con agua, la cual aumenta la producción de biogás.

Riesgos tóxicos: Los gases que acompañan el biogás pueden tener una toxicidad alta (H₂S, etc.). Por eso es peligroso construir casas encima de rellenos sanitarios, y, si se puede preferiblemente evitar la presencia de niños sobre los rellenos sanitarios. Es claro que en el asunto existen otros riesgos importantes para la gente trabajando o viviendo muy cerca de los rellenos sanitarios (riesgos infecciosos, accidentes, animales, etc.).

El biogas tiene importancia sobre el **medio ambiente** por la participación del metano al efecto invernadero. De este punto de vista, es importante destruir el metano y transformarlo en gas carbónico, que tiene también un efecto invernadero, pero menos importante (se cuenta que el metano tiene un efecto invernadero instantáneo 21 veces más fuerte que el gas carbónico).

Captación del biogas

Para captar el biogas se necesitan instalaciones específicas, las cuales dependen de las características técnicas y físicas del relleno.

Las **metas** de un sistema de captación del biogas son :

1. Captación y destrucción del metano y de los gases malolientes y tóxicos
2. Valoración energética

Las **principales dificultades** son las siguientes :

1. La necesidad de **separar el biogas del aire atmosférico**: la mezcla del biogas con aire presenta riesgos de explosión pero también limita fuertemente las posibilidades y el interés de la valoración energética.
2. El problema del **agua de condensación**: el gas es normalmente producido a temperatura alta (40-60 grados) y es saturado en agua. Cuando llega a la superficie, la condensación en las tuberías y la acumulación en las partes bajas ocasionan a menudo obturaciones de los tubos de colección o de drenaje.
3. El **asentamiento** de los desechos, producido por razones geotécnicas, pero también por su degradación de los desechos, es muy **importante** (hasta el 30 % de la altura inicial). Este asentamiento genera puntos bajos, donde se acumula el agua en los tubos, y también genera esfuerzos importantes en las tuberías hasta provocar rupturas. Para resistir a estos movimientos, los sistemas necesitan una buena concepción y un **mantenimiento continuo**.
4. Con la evolución del sistema (variación de producción de gas, asentamientos) es muy importante desarrollar un sistema que tiene **largas posibilidades de ajuste**. No se puede considerar que el sistema se instala definitivamente, al contrario tiene que ser un sistema dinámico y bien mantenido.

Sistemas de captación

Los sistemas de captación son generalmente una combinación de los elementos siguientes:

- **Drenajes** de gas, más o menos horizontales, con los orificios normalmente colocados por abajo para que el agua se infiltre. Estos drenajes deben ser colocados bajo un espesor de desechos o de tierra importante (unos 2 metros según la permeabilidad) para que el aire no entre en el sistema. Se pueden colocar antes de los desechos o después, realizando zanjas. Para que sea eficaz, el drenaje de plástico, tiene que estar

rodeado de un volumen importante de materia muy permeable al gas, como piedras, ladrillos, llantas o desechos gruesos.

En ciertos casos, se pueden utilizar los drenajes de agua sucia (lixiviados) en la base del relleno para captar el gas.

- **Pozos** verticales de gas. Los pozos necesitan un diámetro eficaz grande (+ ó - 1m). Pueden ser hechos a posteriori por perforación, pero son a menudo, y con menos gastos, hechos a medida que sube el relleno. En este caso se hacen con una armadura de madera o metálica que se sube poco a poco y que se llenan de piedras, ladrillos o elementos permeables a medida que sube. El Resultado es una columna permeable, continua y floja, en toda la altura del relleno. El sistema se puede mejorar si se coloca un tubo de drenaje vertical (con sistema de enchufe con paso de rosca porque no se puede soldar). Los pozos pueden servir de sistema de recolección de los drenajes horizontales, puestos radialmente a diferentes niveles.
- **Colectores.** Los colectores aseguran la recolección del gas de los diferentes pozos y drenajes. En lo posible el colector principal se coloca en la periferia del relleno, en el suelo estable para evitar el asentamiento. A él se conectan los colectores secundarios los cuales tienen que ser equipados de posibilidades de medidas de calidad, cantidad y presión, así como de posibilidad de regulación (válvulas). El diseño de los colectores tiene que ser bien hecho para asegurar el funcionamiento a pesar del asentamiento. Por ejemplo es posible utilizar drenes o construir pozos de infiltración de agua en los puntos bajos.
- **Estación de bombeo, regulación, controles.** La estación de bombeo asegura la aspiración del gas y la regulación de la presión y del caudal. Los diferentes colectores son equipados de válvulas para la regulación de la presión. Es favorable tener una estación de control automático de la calidad y cantidad de gas, con un sistema de interrupción del bombeo y de alarma (por teléfono por ejemplo) si el nivel de oxígeno sube encima de cierto grado o si la cantidad de metano disminuye, si el motor o el fuego se apaga, etc. Tal sistema permite tener datos para la regulación y también limita el riesgo de explosión.
- **Coberturas finales, provisionales o diarias.** La realización de cobertura de tierra en las zonas terminadas permite, entre otras ventajas, disminuir la infiltración de aire atmosférico en el sistema de aspiración del biogas. Al contrario, la realización de coberturas diarias numerosas disminuye la eficacia del sistema de aspiración del gas. Si tales coberturas diarias o semanales se necesitan por otras razones (lo que es generalmente recomendado en Latino América) se recomienda aumentar el número de pozos verticales.

Valoración energética pura

La primera solución de valoración energética es la valoración directa de la energía térmica del biogas. Este puede funcionar con instalaciones sencillas, sin grandes infraestructuras. Las límites a la valoración térmica son las siguientes:

- Se necesita un consumidor importante de energía térmica en los alrededores inmediatos del relleno, tal como fabricas de ladrillos o tejas, instalación de incineración de desechos infecciosos o de carne, lavandería industrial, desecación de productos, etc. Muy a menudo tales usuarios no existen en la vecindad y no piensan en instalarse en tal lugar. Eso es una lastima porque la energía puede ser barata. El transporte del gas en tubos generalmente no es rentable.
- Hay que tener cuidado con los riesgos de corrosión en las partes frías de la instalación, donde se puede producir condensación. También hay que hacer una combustión con una temperatura lo mas alta posible para una buena destrucción de los tóxicos.

Generalmente sólo se puede utilizar una pequeña fracción de la energía disponible, lo demás tiene que ser incinerado en una chimenea o utilizado para energía eléctrica.

Valoración en energía eléctrica

Para la valoración eléctrica del biogas se utilizan motores-generadores de gran tamaño, de concepción diesel, los cuales son generalmente utilizados por aplicaciones industriales o navales y pueden funcionar con varios tipos de carburantes líquidos o gaseosos. Actualmente se pueden encontrar instalaciones muy compactas y protegidos al interior de un contenedor prefabricado.

La producción eléctrica es fija en el tiempo y funciona día y noche. Se puede contar con un promedio del 90% del tiempo anual.

El sistema comprende :

- La alimentación de gas y la alimentación del aire de combustión
- La refrigeración del motor (circuitos de aceite, agua y aire de admisión) y el sistema de lubricación
- El sistema de escape con sonda lambda (para controlar y disminuir las cantidades de NOx, lambda = 1.3 – 1.5) , silencioso y chimenea
- La extracción del aire del local
- Todas las instalaciones de comprobación y mando necesarias para un servicio automático
- El sistema de arranque y de sincronización con la red eléctrica.

En el ejemplo del relleno de Châtel-St.-Denis en Suiza se utiliza una instalación con las características siguientes :

- Motor Caterpillar 3516 SITA, 16 cilindros en V, 67.4 litros,
- Potencial eléctrico bruto/neto : 860/845 KW (con 35 % metano)
- Producción eléctrica anual : 7'200 MWh
- Biogas utilizado : 743 Nm³/h (con 35 % metano)
- Rendimiento eléctrica : 34.6 %
- Relación de compresión : 11:1, sobrealimentación con 2 turbocompresores

- Presión mínima del gas a la entrada: 90 mbar
- Capacidad de aceite : 320 litros
- Generador Caterpillar SR4, 860/1075 KVA
- Factor de potencia (cos phi) 0.8
- Rendimiento eléctrico : 95.6 %

En total, es un 33 % de la energía total que se pueden transformar en energía eléctrica.

Valoración en energía térmica y eléctrica (cogeneración)

Una parte de la proporción importante de la energía es perdida en forma de calor. Existe la posibilidad de valorizar también una porción de este calor para uso térmico pero la instalación es más complicada. La experiencia nos dice que son muy raros los casos donde tal solución presente un interés económico. Es generalmente más fácil utilizar una parte del biogas para el uso térmico y otra para la valoración eléctrica.

Mantenimiento : el aspecto crítico

El mantenimiento es seguramente el aspecto central y crítico para una instalación de valoración eléctrica del biogas. Sin embargo, este mantenimiento tiene que ser hecho de una manera absolutamente planificada, regular y con alto nivel profesional. Si se hace correctamente, la vida del motor puede ser de 10 años o más, pero si no se hace de manera preventiva, la instalación se puede arruinar completamente en pocos días. La razón es que el biogas de relleno puede ser particularmente corrosivo para las piezas mecánicas no protegidas del motor.

El programa de control y mantenimiento hecho específicamente por estas condiciones es dado por el constructor. Uno de los aspectos centrales es el control del pH del aceite dos veces por semana, el cual determina la frecuencia del cambio de aceite (no tiene que bajar a menos que un cierto nivel, generalmente un pH de 4). Con un control regular, se puede aumentar la duración de la vida del aceite de uno 700 horas hasta 1.200 horas. Otro aspecto es de hacer analizar por el productor, cada 100 horas al principio y cada 1.000 horas después, una prueba del aceite para detectar la presencia eventual de hierro, cobre, cromo, etc, que permitan hacer un diagnóstico preciso y preventivo del estado de deterioro de la máquina.

El programa de mantenimiento define las intervenciones necesarias y la planificación de cada una: arreglo de las válvulas, cambio de los quemadores, control de la relación de compresión de los cilindros, cambios de diferentes filtros, etc.

Costos

Los costos dependen mucho de las condiciones específicas de cada sitio.

Para dar un ejemplo típico, podemos presentar el caso de un relleno tal como el de Hanoi:

Superficie : 100.000 m²; Altura max: 12,5 m Volumen:
1'000.000 m³

A. Inversiones previstas :

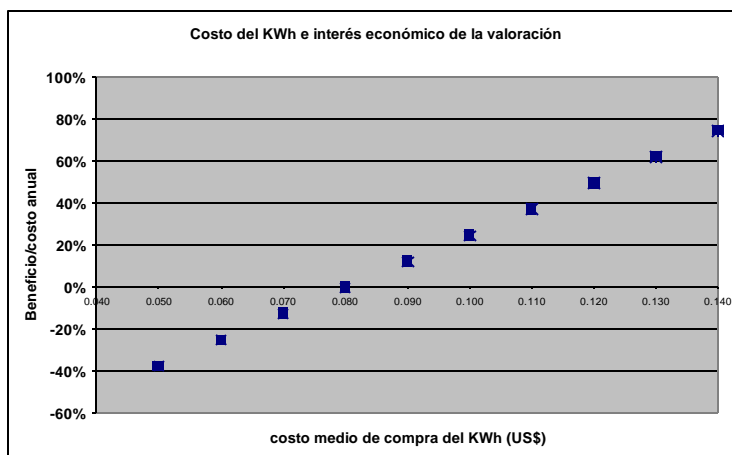
Estudio de factibilidad: yacimiento, costos, planificación, organización	120.000 US\$
100 pozos de gas, diámetro 100 cm, con drenes y grava, 9 m	550.000 US\$
Colectores de gas, principales y secundarios, 3.200 m	150.000 US\$
Mejoramiento de la cobertura del relleno, con una capa de polietileno 250g/m2, 100.000 m2	250.000 US\$
Instalaciones de bombeo, regulación, control, incineración	400.000 US\$
3 motores-generadores de valoración energética de 410 kW de producción eléctrica, produciendo 9,7 millones de KWh/año (funcionamiento 90 % del tiempo) y consumiendo cada uno 325 Nm3/hora de biogas con 50 % de metano	1'500.000 US\$
Ofertas, proyecto, licitación, dirección y control de los trabajos, puesta en servicio	350.000 US\$
Diversos, imprevistos:	<u>270.000 US\$</u>
Total inversiones	3'590.000 US\$

C. Ingresos anuales

Los ingresos anuales dependen totalmente del precio de compra de la electricidad, el cual varía mucho según los países. Si la energía es utilizada por el mismo dueño (utilización industrial en la vecindad), los ingresos dependen del precio de venta de la electricidad. En el ejemplo del Vietnam, el precio de compra de energía eléctrica estaba de 0.12 US\$/kwh.

9'700 MWh/año a US\$ 120.-/MWh

1'164.000 US\$/año



B. Costos anuales

Costos de mantenimiento: 9'700.000 kwh * 0,02 US\$/Kwh **194'000 US\$/año**

Los costos de explotación del relleno y su cobertura (con tierra)
no son incluidos en éstos números.

Ingresos anuales netos **970.000 US\$/año**

Costos anuales de inversión: 10 años, 10 % 584.000 US\$/año

D. Beneficio anual **386.000 US\$/año (33 %)**

En otro modo de presentación, se ve que con estos precios de la energía, las inversiones corresponden a 3-4 años de explotación (venta – mantenimiento). Hemos experimentado resultados similares en Europa.

Condiciones de sostenibilidad

En conclusión, las principales condiciones de sostenibilidad para un sistema de valoración del biogas son las siguientes:

- El **precio de compra de la energía** es determinante, así como su estabilidad en el tiempo. El depende directamente de los recursos y de la política energética del país.
- Un **mantenimiento profesional y sistemático** de las instalaciones mecánicas es una condición imperativa. Este nivel de mantenimiento es mucho más de las competencias de los entes eléctricos que de los entes de limpieza.
- Una **explotación regular y profesional del relleno sanitario**, coordinada con la valorización del biogas. Para esto, es importante que haya un interés común entre ambos.
- El **yacimiento del biogas**, es normalmente bastante estable al nivel de 10 años para un relleno en actividad.

Es importante la valoración de las riquezas energéticas del biogas de los rellenos sanitarios tanto económicamente como ambientalmente. Sin embargo, no es posible esperar que los ingresos de la producción energética sean bastante altos para pagar toda la explotación del relleno sanitario.

Félix Schmidt, 10 de octubre 1999
Medellín2.doc

W:\Mandat.int\Vdx5240.PR-D\conférence\biogas-