

**MANEJO ADECUADO DE LOS GASES QUE SE GENERAN EN LOS
RELLENOS SANITARIOS**

SANDY JAVIER BARRIOS MARTINEZ

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SINCELEJO
2008**

**MANEJO ADECUADO DE LOS GASES QUE SE GENERAN EN LOS
RELLENOS SANITARIOS**

SANDY JAVIER BARRIOS MARTINEZ

**Trabajo de grado, modalidad monografía, presentado como requisito para
optar el título de Ingeniero Civil**

**DIRECTOR: ING. CIVIL DOMINGO GUERRA
PROFESOR UNIVERSIDAD DE SUCRE**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SINCELEJO
2008**

AGRADECIMIENTOS

De una forma muy especial quiero agradecer de todo corazón.

A Dios, por ser la luz que ilumina mi vida, la fuerza que me ayuda a salir adelante en todos los momentos difíciles, por haberme permitido llegar al lugar en el que en estos momentos estoy.

A mis padres, William Barrios Orozco y Daisy Martínez Hernández, por todo el esfuerzo que realizaron por darme todos mis estudios, por el apoyo que me han brindado durante toda mi vida, ellos son pieza fundamental para poder lograr todo lo que he conseguido.

A mis Tíos, Antonio Martínez Hernández y Jorge Luis Martínez Hernández, por todo el apoyo y colaboración incondicional que me han brindado durante toda mi vida.

A mi familia en general, por todo el apoyo y colaboración brindada durante el transcurso de toda mi carrera.

A la Universidad de Sucre, por haberme dado la oportunidad de ingresar a esta bellísima institución y así poder crecer como persona y como profesional.

Al Ingeniero Domingo Guerra, docente y director de este trabajo, por todo el esfuerzo y dedicación que tuvo durante todo el desarrollo del mismo y por toda la asesoría brindada para poder culminar este trabajo.

A todos los docentes del programa de Ingeniería civil que con dedicación, esfuerzo y esmero lograron compartir todos sus conocimientos con cada uno de los estudiantes.

A mis compañeros, por toda la colaboración brindada en todo el transcurso de la carrera.

A todas las personas, que han sido fuente de inspiración y apoyo en los momentos más difíciles de mi vida.

A los jurados, por su valiosa colaboración al momento de evaluar este trabajo.

NOTA DE ACEPTACION

Firma Jurado 1

Firma Jurado 2

Firma Jurado 3

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
OBJETIVOS	
CAPITULO I	
1. NORMATIVIDAD COLOMBIANA	
1.1 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000.	19
1.2 GENERACION DEL BIOGAS	27
1.2.1 Composición de la basura	29
1.2.1.1 Los plásticos	29
1.2.1.2 Los brics	30
1.2.1.3 Las latas	31
1.2.1.4 El vidrio	31
1.2.1.5 Las pilas	32
1.2.1.6 El papel y cartón	32
1.2.2 Contenido de humedad	33
1.2.3 Contenido bacterial	36
1.2.4 Nutrientes	36
1.2.5 Mezcla	37
1.2.6 Temperatura	37
1.2.7 Ph	38
1.2.8 Cobertura	40
1.2.9 Tamaño de partícula	41
1.2.10 Compactación	41

1.3 ETAPAS DE LA FORMACION DEL BIOGAS	43
1.3.1 Fase de ajuste inicial	43
1.3.2 Fase de transición	44
1.3.3 Fase acida	45
1.3.4 Fase de fermentación del metano	46
1.3.5 Fase de maduración	47
1.3.6 Duración de las fases	48
1.4 CARACTERISTICAS Y CLASIFICACION DE LOS GASES	50
1.4.1 Amoniaco	51
1.4.2 Dióxido de carbono	53
1.4.3 Monóxido de carbono	54
1.4.4 Hidrogeno	55
1.4.5 Acido sulfúrico	56
1.4.6 Metano	57
1.4.7 Nitrógeno	59
1.4.8 Oxigeno	60
1.5 CONTROL DE GASES	62
1.5.1 Ventilación para rebajar la presión / quemadores en la cobertura del relleno sanitario	64
1.5.2 Zanjas perimétricas de intersección	64
1.5.3 Zanja perimétrica barrera	65
1.5.4 Barrera impermeable dentro del relleno sanitario	66
1.6 SISTEMAS DE DRENAJES DEL GAS	67
1.6.1 Drenaje pasivo	68
1.6.1.1 Drenaje pasivo sin chimenea	68
1.6.1.2 Drenaje pasivo con chimenea	70
1.6.2 Drenaje activo	71

1.6.2.1 Chimenea y tubería para drenaje activo	74
1.7 TRATAMIENTO DEL GAS	75
1.7.1 Quemado	75
1.7.1.1 Incineración con antorcha	75
1.7.2 Proceso de gas y Recuperación de energía	76
1.8 RECOLECCION DE GAS	76
1.8.1 Técnicas	78
1.8.1.1 Contención	78
1.8.1.2 Ventilación pasiva	78
1.8.1.3 Ventilación activa	80
1.9 MONITOREO DEL BIOGAS	82
CAPITULO II	
2. APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS EN PAISES SUBDESARROLLADOS	86

INTRODUCCIÓN

La disposición definitiva de los residuos sólidos es, hoy en día, uno de los problemas más importantes que afectan a la región de América Latina en términos ambientales. El sistema más adecuado para la disposición final es el relleno sanitario⁵.

En un relleno sanitario en el que los residuos son confinados mediante el sellado del mismo, se presenta el fenómeno de la descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de los residuos orgánicos biodegradables. Esto provoca la generación de gas metano junto con otros gases, que reciben el nombre de biogás. Este biogás dependiendo de la cantidad de metano, puede contener un alto poder calorífico⁶.

El biogás generado en rellenos sanitarios puede ser capturado utilizando un sistema de recolección de biogás que usualmente quema el gas por medio de quemadores. Por otro lado, debido al alto poder calorífico del metano, el biogás puede ser utilizado como combustible para la generación de energía y reemplazar el uso de fuentes más contaminantes y de mayor impacto global, desplazando así fuentes generadoras de GEI. Además de los beneficios energéticos en el uso del biogás, la recolección y control del biogás generado ayuda a reducir emisiones atmosféricas contaminantes⁷.

Varios estudios sugieren que el sector de los rellenos sanitarios y la recuperación de biogás, y en particular del metano, representan una buena oportunidad para

⁵ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁶ PÉREZ ROSAS José; CHÁVEZ REYES Pablo y CEBADA ALVA Bernardino. Evaluación técnico-económica de dos alternativas de aprovechamiento de biogás en un relleno sanitario. México, D.F. 2002.

⁷ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

contribuir a los objetivos del proyecto de Kyoto (PK) y a la vez al desarrollo sustentable de latino América y el Caribe⁸.

Finalmente, los proyectos de aprovechamiento energético del biogás generados en los vertederos incentivan la mejora de los sistemas de manejo de residuos, al requerir un perfeccionamiento de las instalaciones y operaciones de disposición final de la basura.

⁸ SCHMIDT. Félix. Valoración del biogás en un relleno sanitarios seminario internacional de residuos sólidos y peligrosos, siglo XXI.<http://www.resol.com.br/textos/valoraciondel%20biogas>

OBJETIVOS

GENERAL

- ✓ Proporcionar una guía informativa sobre el manejo adecuado que se le debe dar a los gases que se generan en los rellenos sanitarios.

ESPECIFICOS

- ✓ Definir los aspectos que intervienen en la generación de biogás.
- ✓ Clasificar los gases que se producen en los rellenos sanitarios
- ✓ Especificar algunas formas de controlar los gases.
- ✓ Dar a conocer varias técnicas de recolección de gases.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogás.	27
Tabla 2. Distribución porcentual de los gases de relleno sanitario observados durante los primeros 48 meses después de la clausura de una celda.	49
Tabla 3. Peso molecular, densidad y peso específico de gases encontrados en un relleno sanitario controlado en condiciones estándar (0°C, atm).	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Zanjas interceptoras llenas de grava.	65
Figura 2.	Zanjas perimétricas llenas con material poco impermeable (barro).	66
Figura 3.	Barrera impermeable en el relleno sanitario.	67
Figura 4.	Sistema de drenaje activo con todas las unidades.	73
Figura 5.	Chimenea para la extracción pasiva de biogás	79
Figura 6.	Chimenea de extracción activa de gas	81
Figura 7.	Sistema de extracción activa de gas	82
Figura 8.	Aplicaciones del biogás	86

GLOSARIO

Biodegradación: Acción de los procesos biológicos sobre sustancias naturales o manufacturadas, descomponiéndolas en constituyentes más simples que pueden ser incorporados a los ciclos biológicos de materiales en los sistemas ecológicos.

Biogás: Es un [gas](#) combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.

Biomasa: Masa de organismos en cualquier nivel trófico, área o volumen de un ecosistema; se mide en cantidad de materia orgánica por unidad de superficie o de volumen. La biomasa vegetal es susceptible de utilización industrial para la producción de energía por combustión o para la producción de otras sustancias mediante procesos de fermentación.

Compactación: Se podría definir la compactación como un procedimiento artificial de consolidar un terreno, mediante la expulsión del aire existente entre sus partículas, haciendo que las mismas estén lo más próximas posibles. La compactación consiste en aumentar mecánicamente la densidad de un material.

Compost: Producto obtenido de un proceso controlado de descomposición biológica, desarrollado por bacterias aeróbicas y otros microorganismos, actuando sobre la materia orgánica de diversos orígenes. El uso de compost constituye una alternativa al empleo de fertilizantes minerales y contribuye a mejorar la agroproductividad de los suelos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5): Es un parámetro muy empleado para medir la contaminación orgánica en las aguas. Determina la capacidad del medio para descomponer la materia orgánica en un promedio de cinco días, de ahí que se hable de DBO_5 : cantidad en mg / Litro de oxígeno que precisan las bacterias para descomponer las sustancias orgánicas en cinco días y a 20 grados centígrados.

Demanda biológica de oxígeno (DBO): Oxígeno consumido en la degradación de sustancias oxidables del agua por la acción microbiológica, medido en condiciones estandarizadas. Se expresa en miligramos (mg) de oxígeno por litro (Lt) de agua; un valor DBO elevado indica un agua con mucha materia orgánica (contaminación de la fuente). El subíndice cinco indica el número de días en los que se ha realizado la medida (DBO).

Desgasificación: Es el proceso de eliminación de gases disueltos en agua, usando aspiración o calor.

Efecto invernadero: Calentamiento de la atmósfera producido por la alteración del balance térmico debido al aumento de la concentración de gases que no transmiten en onda larga (gases de efecto invernadero como dióxido de carbono, (CO_2) y metano, (CH_4)). El balance térmico de la atmósfera depende del equilibrio entre entradas y salidas de energía radiante. La mayor parte del calentamiento del aire se debe a la energía solar que los materiales de la superficie del planeta absorben y después remiten a mayor longitud de onda, por lo que el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero altera el balance térmico al disminuir las salidas de energía de la atmósfera.

Emisiones: Liberación de contaminantes (partículas sólidas, líquidas, gases, o en alguna combinación de estos) a la atmósfera, procedentes de una fuente fija o móvil. El nivel de emisión se mide en cantidades másicas emitidas por unidad de tiempo. En el caso de las emisiones acústicas, se miden características del ruido como la intensidad.

Incineración: Es un proceso de oxidación térmica a alta temperatura en el cual los residuos peligrosos son convertidos, en presencia de oxígeno, en gases y residuales sólidos incombustibles. Los gases generados son emitidos a la atmósfera previa limpieza de gases y los residuos sólidos son depositados en un relleno de seguridad.

Monitoreo: Es el seguimiento y observación de los fenómenos contaminantes del ambiente, comparados con normas de calidad preestablecidas.

Parte por millón (PPM): Es la representación de la concentración de una sustancia en el agua y es igual a miligramos por litro (Mg. / litro).

Precolación: Filtración del agua a capas profundas del terreno. En ocasiones, el excedente del agua de regadío se pierde por percolación, arrastrando consigo elementos nutritivos.

Válvula de control: Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o [gases](#) mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Vertedero. Lugar donde se depositan residuos de origen urbano o industrial. Puede tratarse únicamente de una acumulación incontrolada, con los consiguientes riesgos de incendio, sanitarios y ambientales, o de una instalación o vertedero controlado donde los residuos reciben algún tipo de tratamiento o almacenamiento.

Vertimiento: en su afección ambiental se utiliza para designar la corriente de desperdicios, ya sean líquidos, sólidos o gaseosos, que se introduce en el medio ambiente.

Fuente, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CALDAS. Glosario ambiental.
<http://www.corpocaldas.gov.co/secciones/infogeneral.php?ele=152>

CAPITULO I

1. NORMATIVIDAD COLOMBIANA

1.1 REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000

SECCION II

TÍTULO F SISTEMAS DE ASEO URBANO

CAPÍTULO F.4 F.4. APROVECHAMIENTO

F.4.1 ALCANCE

El capítulo establece los criterios básicos y requerimientos que debe cumplir la actividad de aprovechamiento como parte constitutiva del proceso de Manejo Integral de Residuos Sólidos. Estas especificaciones corresponden a las mínimas consideraciones que deben tenerse en cuenta para que los métodos de aprovechamiento como la reutilización, el reciclaje, el compostaje y la recuperación de energía se realicen en forma óptima.

Las especificaciones que se mencionan en el presente título deben adoptarse para los cuatro niveles de complejidad del sistema.

F.4.3 MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO

F.4.3.5 Aprovechamiento de gas

El aprovechamiento de gas generado en el relleno sanitario puede ser recolectado a través de un sistema activo para su posterior tratamiento. En el nivel alto de complejidad del sistema, el sistema de recolección pasivo descrito en el Título F.6, Rellenos sanitarios, debe ser instalado de manera que pueda ser convertido a un sistema activo.

F.4.3.5.1 Sistema activo

1. Control activo del gas con chimeneas verticales y horizontales dentro del relleno para su extracción. Este sistema puede realizarse mediante el uso de:

a) Chimeneas verticales

Se puede instalar una chimenea de extracción junto con sondas de gas a distancias regulares de las chimeneas, midiendo el vacío dentro del relleno mientras se aplica la succión a la chimenea de extracción. Se recomienda utilizar un espaciamiento uniforme de las chimeneas y controlar la zona de influencia de éstas ajustando el vacío en la cabecera de cada chimenea. En rellenos sanitarios profundos con cobertura mixta, las chimeneas deben tener un espaciamiento mayor que los rellenos con cobertura de arcilla y/o suelo. La chimenea de extracción consistirá de una tubería de 0.10m a 0.16m colocada en una perforación de 0.45m a 0.90m, el tercio a la mitad inferior se perfora y se coloca un relleno de grava. El resto de la tubería no se perfora y se coloca sobre un relleno de tierra, y se sella con arcilla. Para la colocación de las chimeneas se recomienda que lleguen hasta el fondo del relleno sanitario.

b) Chimeneas horizontales

Si se utiliza este sistema, las chimeneas deben instalarse después de completar dos o más niveles, excavando en los residuos una zanja horizontal para la extracción del gas con una retroexcavadora; después debe rellenarse la mitad de la zanja con grava e instalar el Sistema de Aseo Urbano tubería perforada con juntas abiertas para rellenarla posteriormente con grava y cubrirla con residuos sólidos. Las zanjas horizontales deben ser instaladas en intervalos verticales de 25m.

F.4.3.5.2 Control de migración de gases

1. Chimeneas perimetrales al relleno sanitario

Este sistema es recomendado para rellenos sanitarios con profundidad mínima de 8m. Las chimeneas verticales se localizan dentro o en el borde del relleno sanitario. Cada chimenea se conecta a un tubo colector común que debe estar conectado a un soplador centrífugo de manera que conduzca una presión negativa en el colector y en las chimeneas individuales. La pendiente del colector es del 3% para permitir el movimiento del condensado hasta las trampas de recolección. Debe ventilarse o quemar el gas extraído del relleno de una forma controlada, en la estación del soplador. La chimenea consistirá de una tubería de 0.10m a 0.16m, colocada en una perforación de 0.45m a 0.90m. Del tercio a la mitad inferior se perfora y se coloca en un relleno de tierra o en su defecto de residuos sólidos. Para prevenir la entrada de aire, las chimeneas deben ser equipadas con tomas para el muestreo de gas y válvulas para controlar el flujo.

2. Zanjas perimetrales al relleno sanitario para la extracción del gas

El sistema de zanjas se recomienda en rellenos con profundidades menores de 8m. Estas zanjas son instaladas en el suelo original adyacente al perímetro del relleno; están llenas de grava y tuberías perforadas conectadas lateralmente a un colector y compresor centrífugo de extracción. Las zanjas pueden extenderse verticalmente desde la superficie del relleno hasta la profundidad total de los residuos, sellándose en la superficie. Se pueden utilizar válvulas de control para el caudal.

3. Chimeneas perimetrales al relleno y con inyección de aire

En este sistema debe instalarse chimeneas verticales en el suelo original entre los límites del relleno y las instalaciones que deben protegerse contra la intrusión del gas. Este sistema es recomendado para rellenos sanitarios con profundidad mínima de 7m, en zonas de suelo inalterado entre el relleno y las propiedades potencialmente afectadas.

F.4.3.5.3 Consideraciones de diseño del sistema activo

Los siguientes aspectos deben considerarse en el sistema activo de extracción de gas generado en el relleno sanitario:

1. Los pozos de extracción deben ser profundos y espaciarse de manera que su zona de influencia se traslape. El espaciamiento está dado por la siguiente ecuación:

$$S = \left[2 - \frac{T}{100} \right] R$$

- 2.** La zona de influencia del sistema de extracción de gas debe determinarse de un estudio de campo, instalando un pozo de extracción con piezómetros de gas a distancias regulares del pozo. El muestreo debe realizarse a largo plazo para los propósitos de recuperación. El pozo debe ser bombeado por un tiempo mínimo de 48 horas y posteriormente debe monitorearse la presión por tres días consecutivos y como mínimo dos veces al día. El radio de influencia corresponde al radio en el cual la presión negativa es cercana a cero.
- 3.** El gas puede ser liberado directamente a la atmósfera si cumple con la reglamentación ambiental vigente y los resultados del estudio de impacto ambiental lo permiten. En caso contrario deben tomarse las medidas para mitigar los impactos.
- 4.** Para conectar los pozos de extracción al soplador debe instalarse tubería plástica no perforada de 0.15m a 0.20m de diámetro. Deben protegerse las tuberías contra aplastamiento y asentamientos diferenciales.
- 5.** El soplador debe ser instalado a una altura ligeramente superior del final de la tubería plástica no perforada para facilitar la remoción del condensado.
- 6.** El condensado necesita removerse antes de que el gas entre al soplador. Las trampas de condensado son espaciados entre 150m a 230m. Si los parámetros en el condensado exceden las concentraciones permitidas, el condensado debe tratarse de acuerdo a la legislación vigente para vertimiento de aguas.

7. Para destruir los contaminantes peligrosos el quemador debe tener una temperatura de operación y un tiempo de residencia de 815oC a 900oC y de 0.3 s a 0.5 s, respectivamente.

F.4.3.5.4 Tratamiento del gas

El gas debe ser tratado cuando es recolectado en un sistema activo. Los métodos recomendados son los siguientes:

1. Quemado: Este método de combustión controlada se recomienda cuando hay suficiente gas metano presente en el gas. Los quemadores deben diseñarse cerrados, de manera que permitan tiempos de residencias mayores, temperaturas elevadas de combustión. En este sistema la salida del soplador debe contener instrumentos para verificar la temperatura, la presencia de la llama y un arresta llamas. Igualmente se debe instalar un detector de llama de manera que paralice la válvula y se prevenga el escape a la atmósfera. Este método debe incluir los siguientes sistemas mínimos de seguridad: arresta llamas, pilas termoeléctricas, válvulas y sensores paralizadores.

2. Procesamiento de gas y recuperación de energía: El gas puede ser conducido directamente a una tubería para utilizarlo como gas natural, siempre y cuando no existan otros gases malolientes o tóxicos que interfieran con su uso final, o afecte las condiciones de operación de los sistemas de gas natural.

CAPÍTULO F.6

F.6. RELLENOS SANITARIOS

F.6.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

F.6.4.4 Sistemas de drenaje

F.6.4.4.4 Drenaje de gases

1. Drenaje de gases para los niveles bajo y medio de complejidad.

El drenaje de gases debe estar constituido por un sistema de ventilación en piedra o tubería perforada de concreto revestida en piedra, que funcione como chimeneas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie. Las chimeneas deben estar construidas verticalmente a medida que avanza el relleno, logrando una buena compactación a su alrededor. Se recomienda instalarlas cada 50m, con un diámetro entre 0.30 y 0.50m cada una.

Deben interconectarse los drenes, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario.

Cuando se tenga previsto finalizar la última celda, deben colocarse dos tubos de concreto: el primero, perforado y revestido en piedra para facilitar la captación, salida de gases y evitar la obstrucción de los orificios ya sea por los residuos sólidos o por el material de cobertura. La segunda tubería no es perforada, a fin de coleccionar el gas y quemarlo, eliminando los olores producidos por otros gases.

2. Drenaje de gases para los niveles alto y medio alto de complejidad La eliminación de los gases puede realizarse mediante los siguientes procedimientos:

a) Para permitir la libre evacuación de los gases de la masa de residuos de cada módulo, deben colocarse chimeneas, mínimo cuatro por hectáreas y no menos de una por módulo. Deben ubicarse en la mayor cota final del módulo relleno y cubierto. Este procedimiento debe realizarse para rellenos tipo área. Para rellenos tipo trinchera, las chimeneas deben ubicarse cada 20m o 50m.

b) Cuando sea necesario evitar que el gas se difunda lateralmente a través del terreno y pueda llegar a zonas cercanas deben interponerse barreras de venteo lateral entre la zona de relleno y aquellas que deben protegerse, estableciendo un sector de mayor permeabilidad que el terreno por donde el gas pueda evacuarse hacia la atmósfera con facilidad, mediante zanjas longitudinales de profundidad igual a la del relleno sanitario, hechas en el terreno natural y ubicadas perimetralmente al relleno. El ancho debe ser de 0.6m; las zanjas son rellenas con grava, piedra partida o material similar y cubiertas con una capa de tierra de 0.30m de espesor. Deben colocarse tuberías de 0.15m de diámetro con orificios laterales, que penetren 1.50m en la masa de piedra partida y el manto de cobertura; se colocaran cada 20m y deben sobresalir 2.0m sobre la superficie del terreno llevando en su extremo superior una pieza en T de 0.15m de diámetro. En la superficie lateral de la zanja opuesta a la zona del relleno, cuando el coeficiente de permeabilidad es mayor que 10^{-6} cm/s, se colocará una película de polietileno (200-250 micrones).

F.6.5 CONTROL AMBIENTAL

Debe instrumentarse un programa de monitoreo ambiental, el cual debe incluir medición y control de los impactos generados en el sitio de disposición final. El

cumplimiento de este programa asegura la adecuada operación del relleno sanitario.

F.6.5.2 Monitoreo de biogás

Los parámetros por determinar y su frecuencia de muestreo en el programa de monitoreo de biogás aparecen en la siguiente tabla numero 1.

Tabla 1. Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogás

PARAMETROS	FRECUENCIA
Composición de biogás: CH_4 , CO_2 , O_2	Bimestral
Explosividad	Bimestral
Caudal	Mensual

Fuente, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000

1.2 GENERACIÓN DE BIOGÁS

Un relleno sanitario es un lugar de disposición de los residuos sólidos domiciliarios o municipales. Un área determinada de tierra o una excavación que recibe residuos sólidos domiciliarios, residuos sólidos industriales, comerciales y/o lodos no peligrosos. Según la literatura especializada, cualquier lugar donde los residuos sólidos domiciliarios se encuentran siendo depositados en grandes cantidades, es en principio, un biorreactor que genera gases y líquidos percolados, lo que

dependerá de una serie de variables relacionadas a las características de la basura, del lugar de disposición, de la forma de disposición, al clima, etc⁹.

En un relleno, los variados componentes de los residuos sólidos se degradan anaeróbicamente a diferentes tasas. Por ejemplo, los alimentos se descomponen más rápido que los productos de papel. Aunque el cuero, la goma y algunos plásticos también son materias orgánicas, usualmente se resisten a la biodegradación. Algunos materiales lignocelulósicos, plásticos, textiles y otras materias orgánicas son muy resistentes a la descomposición vía organismos anaeróbicos. A pesar de la falta de uniformidad de la descomposición anaeróbica, se han desarrollado algunas fórmulas empíricas para predecir la cantidad de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) que se genera de la descomposición de la celulosa y otros materiales orgánicos¹⁰.

En este marco, la generación de biogás de un relleno estará fuertemente influida por la capacidad de degradación que tenga la basura depositada allí, y ésta en general dependerá de sus características orgánicas. Mientras mayor sea el contenido orgánico de la basura mayor será la capacidad de degradación anaeróbica y generación de biogás.

Entre los parámetros que mayor influencia tienen en la recuperación de biogás, se encuentran:

- Composición del residuo (porcentaje de materia biodegradable, humedad del residuo y del lecho del vertedero, presencia de nutrientes o inhibidores)

⁹COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

¹⁰ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

- Sistema de gestión del recinto (el grado de compactación de la basura, la mezcla de los distintos residuos, la recirculación de lixiviados, el sellado y el recubrimiento diario)
- Edad del vertido y condiciones climatológicas de la zona (principalmente nivel de lluvias y variaciones de temperatura).

El período de tiempo que se requiere para que la basura doméstica se degrade y se produzca biogás dependerá de muchas variables, entre ellas el número de Organismos presentes en la basura, los nutrientes, la temperatura, acidez (pH), el contenido de humedad, la cobertura y densidad de compactación¹¹.

1.2.1 Composición de la basura

A mayor cantidad de restos de comida presentes en la basura más rápido se generará biogás. El papel y materias orgánicas similares se degradan a una tasa menor y se resisten a la biodegradación.

Existen una gran variedad de componentes que están dentro de las basuras de los cuales tenemos los siguientes¹²:

1.2.1.1 Los plásticos

El 14% del peso de la bolsa de basura son plásticos, y en su mayoría provienen de envases de un solo uso y de todo tipo de envoltorios y embalajes (botellas de

¹¹ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>.

¹² MAGALI DE LUCA. Sofía. Cada vez mas basura. Argentina. 2004.
www.chicos.net/chicosnet/html/corresponsales/ecologia31.htm - 46k

PVC o PET, bolsas de polietileno, bandejas y cajas protectoras de corcho blanco.). Si se entierran en un vertedero ocupan mucho espacio, tardan desde décadas hasta milenios en degradarse, Si se opta por incinerarlos, originarán emisiones de CO_2 , contribuyendo al cambio climático, y otros contaminantes atmosféricos muy peligrosos para la salud y el medio ambiente.

Uno de los plásticos de uso más generalizado es el PVC, produce una elevada contaminación en su fabricación. Si finalmente se incinera produce unas de las sustancias más tóxicas que se conocen, las dioxinas y los furanos. Hay que tener en cuenta, que todos los plásticos se fabrican a partir del petróleo. Por ello al consumir plásticos, además de colaborar al agotamiento de un recurso no renovable, potenciamos la enorme contaminación que origina la obtención y transporte del petróleo y su transformación en plástico¹³.

1.2.1.2 Los brics

Son envases, normalmente rectangulares, fabricados con finas capas de celulosa, aluminio y plástico (polietileno). Se utilizan para el envasado de refrescos, jugos, agua, vinos, salsas, productos lácteos y otros líquidos, por conservar bien los alimentos y tener escaso peso y una forma que facilita su almacenaje y transporte. Para su elaboración se requieren materias primas no renovables de por sí muy impactantes y consumidores de energía: el aluminio y el petróleo.

A esto tenemos que añadir que para elaborar los brics, la pasta de celulosa viaja desde Escandinavia y la bauxita desde Brasil. Miles y miles de kilómetros de derroche energético y contaminación. Por la dificultad de separar el plástico y el

¹³ MAGALI DE LUCA. Sofía. Cada vez mas basura. Argentina. 2004
www.chicos.net/chicosnet/html/corresponsales/ecologia31.htm - 46k

aluminio no se pueden reciclar para producir nuevos "brics". En Madrid tan sólo se recuperan el 0,28%, con los que se fabrican objetos de poco valor¹⁴.

1.1.2.3 Las latas

Los metales en su conjunto representan el 11,7% del peso de los RSU y el 4,2% de su volumen y, en la actualidad, la mayoría son latas. Fabricadas a partir del hierro, el zinc, la hojalata y sobre todo, el aluminio, se han convertido en un auténtico problema al generalizarse su empleo como envase de un solo uso.

El aluminio se fabrica a partir de la bauxita, un recurso no renovable, para cuya extracción se están destrozando miles de kilómetros cuadrados de selva amazónica y otros espacios importantes del planeta. La producción de aluminio es uno de los procesos industriales más contaminantes: para obtener una sola tonelada se necesitan 15.000 kw/h, con los consiguientes impactos ambientales, se producen 5 toneladas de residuos minerales y se emiten gran cantidad de dióxido de azufre, fluora mina y vapores de alquitrán que contaminan la atmósfera y provocan lluvia ácida. Si son enterrados contaminan las aguas superficiales y residuales a causa de los aditivos y metales pesados que se incorporan al aluminio, y si son incinerados originan contaminación de la atmósfera¹⁵.

1.1.2.4 El vidrio

Su dureza y estabilidad han favorecido que el vidrio se emplee para la conservación de líquidos o sólidos, el aislamiento, etc. No necesita incorporar

¹⁴ MAGALI DE LUCA. Sofía. Cada vez mas basura. Argentina. 2004
www.chicos.net/chicosnet/html/corresponsales/ecologia31.htm - 46k

¹⁵ MAGALI DE LUCA. Sofía. Cada vez mas basura. Argentina. 2004.
www.chicos.net/chicosnet/html/corresponsales/ecologia31.htm - 46k

aditivos, por lo que no se alteran las sustancias que envasa, es resistente a la corrosión y a la oxidación, muy impermeable para los gases. Es el envase ideal para casi todo.

El problema es que se han generalizado envases de vidrio no retornables, dando así lugar al disparate de tirar como basura envases alimentarios que se podrían utilizar hasta 40 o 50 veces, por término medio. Los envases de vidrio se pueden reciclar al 100%, pero no olvidemos que, en su reciclaje también se gasta energía y se contamina, lo que es un derroche tratándose de algo que perfectamente podría ser reutilizado una y otra vez, antes de reciclarlos. Es necesario volver a la vieja práctica de la devolución de la botella reutilizable. Para simplificarla sería conveniente que los envasadores estandarizaran las botellas¹⁶.

1.2.1.5 Las pilas

Presentan un elevado potencial contaminante, especialmente debido al mercurio y otros metales pesados que contienen, muy especialmente la mayoría de las pilas-botón. Una sola de estas pilas puede llegar a contaminar hasta 600.000 litros de agua. Las pilas corrientes, si bien no son tan dañinas, tampoco son buenas para el medio ambiente¹⁷.

1.2.1.6 El papel y cartón

Son innumerables los objetos de consumo que se empaquetan con papel o cartón, de forma que estos materiales representan el 20% del peso y un tercio del

¹⁶ MAGALI DE LUCA. Sofía. Cada vez mas basura. Argentina. 2004. www.chicos.net/chicosnet/html/corresponsales/ecologia31.htm - 46k

¹⁷ MAGALI DE LUCA. Sofía. Cada vez mas basura. Argentina. 2004. www.chicos.net/chicosnet/html/corresponsales/ecologia31.htm - 46k

volumen de la bolsa de basura. Además, los sobre empaquetados dan lugar a gran cantidad de envoltorios superfluos elaborados con estos y otros materiales.

Aunque son de fácil reciclaje, y de hecho se reciclan en buena parte, la demanda creciente de papel y cartón obliga a fabricar más y más pasta de celulosa, lo que provoca la tala de millones de árboles, las plantaciones de especies de crecimiento rápido como el eucalipto o el pino, en detrimento de los bosques autóctonos, y la elevada contaminación asociada a la industria papelera. Además, no todo el papel puede ser reciclado, los plastificados, los adhesivos, los encerados, los de fax o los autocopiativos no son aptos para su posterior reciclaje¹⁸.

1.2.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad es considerado el parámetro más importante relativo a la descomposición de los desechos y producción de biogás. Proporciona el ambiente acuoso necesario para la producción de biogás y también sirve como medio de transporte para los nutrientes y bacterias. Contenidos de humedad elevados incrementan la producción de biogás. La distribución y flujo de humedad son importantes en la dispersión de nutrientes y microorganismos, así como también en la dilución y remoción de sustancias inhibitoras. El contenido total de humedad de los residuos que se reciben en el relleno sanitario varía de un 15 a un 50 %. En promedio el porcentaje de humedad alcanza un 25 %.

El contenido de humedad puede variar ampliamente en diferentes zonas del relleno. Además, el contenido total de humedad de los residuos varía con el tiempo debido a diversas razones, incluyendo:

¹⁸ MAGALI DE LUCA. Sofía. Cada vez mas basura. Argentina. 2004.
www.chicos.net/chicosnet/html/corresponsales/ecologia31.htm - 46k

1. El agua que se infiltra a través de la cobertura del relleno puede incrementar progresivamente el contenido de humedad, principalmente en las capas superiores (los residuos colocados inmediatamente bajo la cobertura deben alcanzar su capacidad de campo antes de que el lixiviado sea liberado hacia la parte inferior de la siguiente capa de residuos).

2. La infiltración de agua subterránea a través de las paredes laterales del relleno puede saturar los residuos desde la base del relleno hasta el nivel de las aguas subterráneas adyacentes a la zona y aún más como resultado del fenómeno de capilaridad.

3. El asentamiento de los residuos (las capas inferiores están sujetas a mayores densidades y como consecuencia se incrementa la humedad si se libera el lixiviado).

4. El agua liberada como un subproducto del proceso de descomposición.

5. Disposición de residuos, tales como lodos activados, en áreas aisladas dentro del relleno, lo cual también puede causar variación substancial en el contenido de humedad. Obviamente en regiones áridas y semiáridas la infiltración de aguas superficiales y subterráneas es muy improbable, y el contenido de humedad puede disminuir con el tiempo a medida que los residuos en estado saturado liberan algo de su humedad a la atmósfera por pérdidas de vapor durante el periodo activo de descomposición.

La velocidad de producción de biogás es muy dependiente del contenido de humedad, y debido a que la humedad puede fluctuar ampliamente, existen grandes variaciones en la velocidad de producción de biogás.

A medida que el volumen de residuos es compactado por el equipo o cargas aplicadas, se incrementa la densidad con un contenido de humedad constante. Al mismo tiempo, la saturación se incrementa a medida que los espacios vacíos disminuyen. Una vez que los residuos alcanzan un grado de saturación de aproximadamente $80 \pm 5\%$, algunos líquidos se liberan de los residuos. Esto es importante, ya que esta agua transportará nutrientes, bacterias y otros factores de la descomposición.

A medida que el volumen de residuos es expuesto a un incremento de humedad por infiltración a un volumen constante, el porcentaje de saturación también se incrementará hasta que se produzca el lixiviado. El nivel de saturación en el que se produce el lixiviado depende de muchas condiciones.

El lixiviado inicialmente se presenta por el flujo a través de los espacios vacíos. Esta condición es más prevaleciente a bajas densidades, y disminuye a medida que la densidad y/o el sistema se vuelvan más homogéneos.

La relación entre el contenido de humedad y la velocidad de producción del biogás es compleja. La bacteria metanogénica requiere para subsistir un cierto nivel de humedad. Este nivel se alcanza aún en los rellenos más secos; por lo tanto, encontraremos producción de biogás en cualquier relleno. A medida que la humedad se incrementa hasta alcanzar la capacidad de campo, la velocidad también aumenta moderadamente ya que los nutrientes, alcalinidad, pH, bacterias, etc., no son transferidos tan fácilmente en el relleno. Pero una vez que el contenido de humedad sobrepasa la capacidad de campo, el líquido transporta nutrientes, bacterias y alcalinidad a otras áreas y regiones dentro de los residuos. Esta condición entonces induce un ambiente más favorable y la velocidad de producción del gas aumenta¹⁹.

¹⁹ RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

1.2.3 Contenido bacterial

La bacteria involucrada en la metanogénesis existe en la basura y cobertura usada en las operaciones del relleno sanitario. Sin embargo, añadir a la basura bacterias de otra fuente puede traer como consecuencia que la población bacteriana se desarrolle con mayor velocidad. El agua residual de los lodos activados y efluentes de tanques digestores pueden ser fuentes adicionales de bacterias. Pero también se debe considerar que debido a que la bacteria anaerobia no se desarrolla en presencia de oxígeno, los efluentes de lodos activos pueden no tener un efecto positivo en la producción del gas si éstos han sido expuestos a un equilibrio con la atmósfera²⁰.

1.2.4 Nutrientes

Aunque los organismos anaeróbicos se desarrollan naturalmente entre la basura, estos mismos también se encuentran en los excrementos humanos y de animales, por lo que el proceso de generación de gas se acelera cuando en un relleno también se disponen los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas servidas. Además esto agrega humedad²¹.

Las bacterias requieren de varios nutrientes para su crecimiento, principalmente carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo; también pequeñas cantidades de sodio, potasio, azufre, calcio y magnesio. Algunos nutrientes se requieren en cantidades suficientes y en ciertas proporciones. Numerosos materiales tóxicos,

²⁰ RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

²¹ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

como metales pesados, pueden retardar el crecimiento de la población bacteriana y consecuentemente la producción de biogás²².

1.2.5 Mezcla

En un relleno sanitario, el mezclar la basura logra poner en contacto los organismos anaeróbicos con su fuente alimenticia. Lo mismo hace la recirculación de líquidos percolados, acelerando la degradación de la basura²³.

1.2.6 Temperatura

Las condiciones de temperatura presente en el relleno sanitario influyen el tipo de bacterias predominantes y el nivel de producción de biogás. Dependiendo del intervalo de temperaturas en el cual la actividad bacteriana se optimiza, las bacterias se clasifican como mesófilas y termófilas. Dentro de estos intervalos, se ha demostrado que incrementos de temperatura de 10°C pueden duplicar la velocidad de crecimiento de las bacterias hasta que se alcanza un límite de temperatura.

El intervalo de temperatura óptimo para la bacteria mesofílica es de 25° C a 40° C, mientras que el óptimo para la bacteria termofílica es de 55°C a 65°C. Las termofilas generalmente manifiestan mayores velocidades de producción de biogás; sin embargo muchas zonas del relleno presentan el intervalo mesofílico. Las temperaturas del relleno frecuentemente alcanzan un máximo durante los 45 días posteriores a la disposición de los residuos como resultado de la actividad

²² RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

²³ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

aerobia. La temperatura generalmente disminuye al inicio de las condiciones anaerobias. Las mayores fluctuaciones de temperatura se presentan en la capa más alta del relleno como resultado de los cambios de temperatura del medio ambiente. Las capas intermedias e inferiores presentan pequeñas fluctuaciones de temperatura debido al efecto aislante de la gran cantidad de residuos dispuestos. Las zonas donde se presentan al menos 15m de profundidad son poco afectadas por temperaturas del medio ambiente y se han observado temperaturas hasta de 70°C.

Las fluctuaciones de temperatura dentro de un relleno son: función de la posición relativa de los residuos y el tiempo transcurrido después de la disposición de los residuos en el relleno.

Se han reportado temperaturas de biogás en un intervalo de 30 a 60°C como resultado de factores de temperatura ambientales tales como el clima, así como también factores de temperatura internos como el calor desprendido por las reacciones biológicas aerobias y anaerobias dentro del relleno. El intervalo de temperatura por debajo de los 15°C en teoría limita severamente la actividad de la bacteria metanogénica²⁴.

1.2.7 PH

La actividad del ión hidrógeno en la fase acuosa es un parámetro ambiental crítico que afecta de manera importante el balance entre varias poblaciones microbianas. El pH óptimo para la digestión anaerobia es de 6.7 a 7.2. En un intervalo óptimo de pH, las bacterias formadoras del metano proliferan y por ende la producción de metano se maximiza.

²⁴ RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

La presencia de humedad y la creación de una fase acuosa inician un proceso de lixiviación en el cual varios componentes de la masa de residuos entran a la fase acuosa. Los iones hidrógeno son introducidos primero siguiendo este proceso de lixiviación como resultado de las reacciones de transferencia de protones que ocurren en la fase acuosa. La actividad bacteriana genera dióxido de carbono, el cual se disuelve en la fase acuosa hasta un cierto punto descrito por la ley del equilibrio de Henry:

$$[CO_2(aq)] = K_H P_{CO_2}$$

donde:

$[CO_2(aq)]$ es la concentración molar de CO_2 en la fase acuosa (moles/litro)

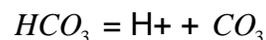
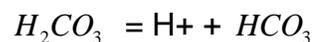
P_{CO_2} es la presión parcial de CO_2 en equilibrio con la fase acuosa (atm)

K_H es la constante de la Ley de Henry (mol/litro atm)

La disolución de CO_2 es seguida de una reacción con agua para dar ácido carbónico, H_2CO_3 , de acuerdo a la siguiente ecuación:



El efecto total de la disolución de CO_2 es la creación de una acidez en la fase acuosa. Las siguientes reacciones muestran este efecto:



De lo señalado anteriormente puede decirse que de acuerdo a como procede la descomposición de los residuos en el relleno a través de la actividad bacteriana y se forma CO_2 como un subproducto, se origina la acidez por disolución de CO_2 . La acidez es mayor al inicio del proceso de biodegradación, cuando gran parte del biogás producido es dióxido de carbono. Bajo la suposición de la existencia de equilibrio entre la fase acuosa y gaseosa, se puede predecir la acidez causada por

la disolución de CO_2 , conociendo la temperatura de la fase acuosa y la presión parcial de CO_2 en la fase gaseosa.

Como se mencionó anteriormente, la producción de metano pasa por una etapa de formación ácida en la cual los productores de ácidos metabolizan compuestos orgánicos complejos a ácidos orgánicos tales como ácido acético, CH_3COOH , lo cual predomina usualmente. La formación de estos ácidos es el segundo contribuyente de la acidez, especialmente si se manifiestan cantidades considerables. Las bacterias productoras del metano metabolizan estos ácidos y su existencia garantiza el mantenimiento de bajas concentraciones ácidas.

Es conveniente notar también que como resultado del proceso de lixiviación, algunas sustancias alcalinas entran a la fase acuosa y neutralizan parte de la acidez generada. Además, estas sustancias pueden traer como resultado la creación de sistemas amortiguadores químicos y mantener un rango óptimo de pH²⁵.

1.2.8 Cobertura

La cobertura periódica y sistemática de la basura evita que esta entre en contacto con el aire permitiendo la generación de condiciones anaeróbicas que la degradan y producen biogás. Mientras antes se den estas condiciones más rápido comienza a degradarse la basura²⁶.

²⁵ RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

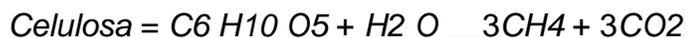
²⁶ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

1.2.9 Tamaño de Partícula

Se cree que un menor tamaño de partícula tiene un efecto benéfico en la producción de biogás. Un tamaño de partícula reducido expone una mayor área superficial de los residuos a los parámetros importantes que afectan la producción de biogás, incluyendo humedad, nutrientes y bacterias. Una masa bien triturada de residuos tiene como resultado un incremento en la actividad microbiana y transferencia de nutrientes, particularmente si hay suficiente humedad²⁷.

1.2.10 Compactación

La compactación de la basura genera el contacto con los nutrientes y la humedad, y tiende a expulsar el oxígeno presente, lo que a su vez tiende a reducir el tiempo en que se inicia la biodegradación anaeróbica²⁸. A pesar de la falta de uniformidad de la descomposición anaeróbica, se han desarrollado algunas fórmulas empíricas para predecir la cantidad de metano y dióxido de carbono que se genera de la descomposición de la celulosa y otros materiales orgánicos. Por ejemplo, algunos autores han utilizado la relación:



La ecuación indica que se producen cantidades iguales de metano y dióxido de carbono. Sin embargo, como el dióxido de carbono es soluble en agua, la cual se pierde en los percolados de un relleno sanitario, en realidad la cantidad de carbono es menor.

²⁷ RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

²⁸ RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

Algunos autores, sugieren que en los vertederos o basurales abiertos, en los cuales la basura no es compactada ni cubierta, ocurre una baja descomposición anaeróbica puesto que la basura se encontraría en contacto con el aire primando un proceso de oxidación. En estos casos donde la descomposición de la basura ocurre en condiciones aeróbicas donde se generaría en su mayor parte CO_2 y agua y prácticamente nada de metano. Bajo condiciones anaeróbicas entonces, el metano y el CO_2 son los principales gases que se generan en un relleno sanitario. Por otro lado, cuando la degradación se realiza bajo condiciones que no son controladas, el proceso ocurre en forma aleatoria en la basura depositada y es muy difícil predecir el nivel de biodegradación que ocurre en el relleno y el horizonte de tiempo en que esta se desarrolla. Tras años de experiencia práctica y de investigaciones conducidas en el mundo más desarrollado se ha logrado alcanzar algún grado de entendimiento acerca de los procesos de biodegradación de la basura y de la producción de biogás y su composición²⁹.

En un relleno convencional, la compactación de los residuos está en un intervalo de 720 a 780 Kg/m³. Si se disminuye la compactación esto podría permitir una mayor libertad de movimiento de agua y nutrientes y mayor transferencia de masa de estos componentes. Sin embargo, la compactación por sí misma no es suficiente para afectar la producción de biogás pues el agua es el factor importante en la transferencia de masa. El movimiento de nutrientes por la adición de humedad parece ser más importante para afectar la producción de biogás que simplemente un decremento en la compactación³⁰.

²⁹ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>.

³⁰ RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

1.3 ETAPAS DE LA FORMACION DEL BIOGAS

El proceso de formación del biogás tiene cinco fases bien definidas las cuales se producen en la siguiente secuencia:

1.3.1 Fase De ajuste inicial

Esta fase es aeróbica que sucede inmediatamente después que la basura es depositada. Las sustancias de fácil biodegradación se comienzan a degradar a partir de su contacto con el oxígeno del aire. Esta primera fase de descomposición microbiana de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se realiza bajo condiciones aerobias, mientras se ejecutan las operaciones necesarias para introducir la materia orgánica en un medio que posea condiciones anaerobias: túneles de fermentación, digestor, vertedero, etc. Se produce CO_2 y la temperatura comienza a elevarse. En general es una etapa relativamente corta³¹.

Se caracteriza por una baja actividad biológica. Los productos de reacción son básicamente agua y dióxido de carbono. La materia orgánica en descomposición elimina al medio gran cantidad de su contenido de agua superficial. La baja concentración de la DQO de los líquidos lixiviados producidos en esta etapa se debe principalmente al efecto de dilución por la cantidad de agua que se produce³².

³¹ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

³² M. C. Bologna, O. R. Simona. Simulación del comportamiento de la biodegradación de residuos sólidos urbanos compactados. http://dpi.eq.ufrj.br/ciaiq_22/CD/formCrCongreso/papers/10a/10a_159.pdf

1.3.2 Fase de transición

Esta etapa también es una etapa aeróbica, durante la cual aún no se desarrollan condiciones anaeróbicas. Ocurre un proceso de fermentación, donde se desarrollan ácidos en los líquidos percolados y se produce una caída importante en el pH. En estas condiciones el biogás está compuesto básicamente de CO_2 . Se caracteriza esta fase por el paulatino descenso de las condiciones aerobias, presencia de oxígeno, hasta su completa desaparición, comenzando la etapa anaerobia. El oxígeno desaparece del metabolismo respiratorio, siendo sustituido por compuestos inorgánicos oxidados, como el nitrito y el sulfito, los cuales, sometidos a un potencial de oxidación-reducción que se encuentre en el rango de 50 a 100 milivoltios, se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno³³.

En estas condiciones, el potencial reductor del medio irá incrementándose, y cuando llegue a valores que se encuentren entre 150 a 300 milivoltios, comenzará la generación de metano. Mientras sigue bajando el potencial de oxidación/reducción, los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica comienzan un proceso que se resume en la conversión del material orgánico complejo en ácidos orgánicos y otros productos intermedios. El pH de la fase líquida, si es que existe, comienza a caer debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO_2 dentro del medio. En esta fase actúan básicamente bacterias hidrolíticas, las que transforman los carbohidratos, proteínas, azúcares y ácidos grasos en ácidos carboxílicos y alcoholes³⁴.

³³ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

³⁴ M. C. Bologna, O. R. Simona. Simulación del comportamiento de la biodegradación de residuos sólidos urbanos compactados. http://dpi.eq.ufrj.br/ciaiq_22/CD/formCrCongreso/papers/10a/10a_159.pdf

1.3.3 Fase acida

En esta fase se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase anterior con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. Esta fase, predominada por las bacterias denominadas no metanogénicas o acidogénicas, pueden resumirse en:

Transformación enzimática o hidrólisis, de compuestos con alto peso molecular como los lípidos, polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos, etc., en otros compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y como transformación a carbono celular.

Conversión microbiana o acidogénesis de los compuestos resultantes del primer paso de este proceso, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como son el ácido acético, CH_3COOH y las pequeñas concentraciones de ácido fólvico y otros ácidos más complejos.

En la fase acida el biogás empieza a contener cantidades crecientes de metano y la concentración de CO_2 empieza a decrecer. En la medida en que los ácidos orgánicos se convierten en biogás, los niveles de pH de los líquidos percolados comenzará a aumentar, la carga orgánica decrecerá y el contenido de amoníaco aumentará.

Las características propias de la fase ácida son:

Generación de diversos compuestos gaseosos, principalmente dióxido de carbono, CO_2 además de gas de hidrógeno, H_2

El pH de la fase líquida del medio, si existe, frecuentemente caerá hasta un valor de 5 o menos, por la presencia de los ácidos orgánicos y por las elevadas concentraciones de CO_2 .

La demanda bioquímica de oxígeno, DBO_5 la demanda química de oxígeno, DQO, y la conductividad del medio líquido se incrementarán significativamente debido a la disolución de ácidos orgánicos.

Disolución de algunos constituyentes inorgánicos, principalmente metales pesados, y de algunos nutrientes en el medio líquido, debido a los bajos valores del pH³⁵.

1.3.4 Fase de fermentación del metano

Esta fase, dominada por microorganismos que comienzan a desarrollarse hacia el final de la fase ácida, estrictamente anaerobios y denominados metanogénicos, se caracteriza por la conversión del ácido acético y el gas de hidrógeno, producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida, en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). 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. Los ácidos orgánicos en los líquidos percolados se descomponen inmediatamente en biogás. La carga orgánica de los percolados es baja y consiste principalmente de componentes orgánicos de alta biodegradabilidad. Como las condiciones son eminentemente anaeróbicas los percolados tendrán una alta concentración de amoníaco.

³⁵COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

Debido a la transformación de los ácidos y el gas de hidrógeno en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), el pH de la fase líquida subirá a valores más neutros, en el rango de 6,8 a 8, reduciendo las concentraciones de DBO_5 y DQO, así como el valor de conductividad del líquido. Con este incremento de pH, disminuye la concentración de los constituyentes inorgánicos en la disolución y, como resultado, la concentración de metales pesados presentes en el líquido también se reducirá³⁶.

1.3.5 Fase de maduración

Fase de maduración, esta fase 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.

Durante esta fase la velocidad de generación del gas de relleno sanitario disminuye significativamente, por que la mayoría de los nutrientes se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el relleno sanitario son de una degradación lenta³⁷. Los principales gases que han evolucionado durante esta fase de maduración son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2); según las medidas de sellado del relleno sanitario, también pueden encontrarse pequeñas cantidades de nitrógeno y oxígeno en el gas, además durante esta fase el lixiviado contendrá ácidos húmicos y fúlvicos, que son difíciles de degradar biológicamente³⁸.

³⁶ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

³⁷ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

³⁸ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

1.3.6 Duración de las fases

Las fases 1 y 2 pueden tener una duración de entre semanas a dos o más años. En general, una mayor temperatura ambiental tenderá a acelerar los procesos de biodegradación. Altas tasas de compactación y acumulación de la basura en capas delgadas también tendrán el mismo efecto. La acumulación de la basura en celdas pequeñas también acelerará las reacciones tendiendo a reducir la duración de estas etapas³⁹. Si uno procede a hacer una medición de la composición del biogás en estas etapas encontrará que en su mayoría este está compuesto por CO_2 y muy poco metano⁴⁰.

Las fases 3 y 4, en tanto, pueden llegar a durar aproximadamente 5 años en su nivel más elevado para luego decaer progresivamente, dependiendo de las condiciones de operación del relleno y en particular del contenido de humedad de la basura. Como la humedad tiende a acelerar las bioreacciones que ocurren en la basura, las precipitaciones tenderán a reducir la duración de estas etapas y a aumentar la generación de biogás en el tiempo. La recirculación de los líquidos percolados hacia las celdas de disposición contribuirá al contenido de humedad de la basura y a acelerar las reacciones⁴¹. Es en esta etapa de régimen donde los rellenos sanitarios cuyo biogás no se recupera hacen su mayor contribución al problema del cambio climático y donde se encuentra el mayor potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)⁴².

La etapa 5 del ciclo de vida de un relleno sanitario dependerá en gran parte de las condiciones de operación desarrolladas desde un principio en un relleno. Sin

³⁹COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁴⁰BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

⁴¹COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁴²BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

embargo, puede tomar décadas e incluso siglos para que la basura depositada en un relleno finalmente se estabilice⁴³. Solamente cuando esta etapa ha terminado o se apronta a terminar, y sus emisiones de biogás se han reducido a un volumen imperceptible, es cuando comienzan los procesos de reclamación de los sitios destinados a relleno sanitario⁴⁴.

En la siguiente tabla numero 2 se presentan datos típicos sobre la distribución porcentual en función del tiempo de los principales gases encontrados en un relleno sanitario recientemente agotado.

Tabla 2. Distribución porcentual de los gases de relleno sanitario observados durante los primeros 48 meses después de la clausura de una celda

Intervalo temporal desde el llenado de la celda, meses	Medio, porcentaje por volumen		
	Nitrógeno	Dióxido de Carbono	Metano
0 a 3	5,2	88	5
3 a 6	3,8	76	21
6 a 12	0,4	65	29
12 a 18	1,1	52	40
18 a 24	0,4	53	47
24 a 30	0,2	52	48
30 a 36	1,3	46	51
36 a 42	0,9	50	47
42 a 48	0,4	51	48

Fuente, Tchobanoglous et al, Gestión integral de residuos sólidos, 1995

⁴³COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁴⁴BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

1.4 CARACTERISTICAS Y CLASIFICACION DE LOS GASES

El gas del relleno sanitario está compuesto de varios gases que están presentes en grandes cantidades (gases principales) y de varios gases que están presentes en pequeñas cantidades (oligogases). Los gases principales proceden de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos; algunos de los oligogases, los cuales pueden ser tóxicos y podrían presentar riesgos para la salud pública.

Los gases que se encuentran en los rellenos sanitarios incluyen amoníaco (NH_3), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrogeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), metano (CH_4), nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), etc.

El metano y el dióxido de carbono son los principales gases procedentes de la descomposición anaerobia de los componentes biodegradables de los residuos; cuando el metano está presente en el aire en concentraciones entre el 5 y el 15% es explosivo. Como en los rellenos sanitarios solo están presentes cantidades limitadas de oxígeno, cuando las concentraciones de metano llegan a ese nivel crítico hay poco peligro de que el relleno vaya a explotar; sin embargo pueden formarse mezclas de metano que están dentro del rango explosivo si el gas del relleno sanitario migra fuera del lugar y se mezcla con el aire.

En la siguiente tabla numero 3 se muestran algunas características como el peso molecular, densidad y peso específico de algunos gases que se encuentran en un relleno sanitario controlado en condiciones estándar ($0^\circ C$, 1 atm)⁴⁵.

⁴⁵ PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos urbanos. Santafé de Bogotá. ACODAL.1998.

Tabla 3. Peso molecular, densidad y peso específico de gases encontrados en un relleno sanitario controlado en condiciones estándar (0°C, 1 atm)

Gas	Formula	Peso Molecular	Densidad g/l	Peso Especifico kg/m³
Aire		28.97	1.2928	1.293
Amoniaco	NH_3	17.03	0.7708	0.771
Dióxido de carbono	CO_2	44.00	1.9768	1.977
Monóxido de carbono	CO	28.00	1.2501	1.250
Hidrogeno	H_2	2.016	0.0898	0.089
Sulfuro de hidrogeno	H_2S	34.08	1.5392	1.538
Metano	CH_4	16.03	0.7167	0.717
Nitrógeno	N_2	28.02	1.2507	1.251
Oxigeno	O_2	32.00	1.4289	1.428

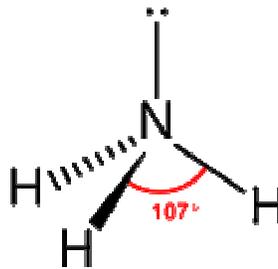
Fuente, Tchobanoglous et al, Gestión integral de residuos sólidos, 1995

En un relleno sanitario se encuentran una gran variedad de gases dentro de los cuales están los siguientes:

1.5.2 Amoniaco

El amoníaco es un compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrogeno (H) de acuerdo a la formula **NH₃**.

Los pares electrónicos de valencia del nitrógeno en la molécula se orientan hacia los vértices de un tetraedro, distribución característica cuando existe hibridación. Existe un par solitario, por lo que la geometría de la molécula es piramidal trigonal (grupo puntual de simetría C_{3v}). En dilución acuosa se puede comportar como una base y formarse el ion amonio, NH_4^+ , con un átomo de hidrógeno en cada vértice del tetraedro:



El amoníaco, a temperatura ambiente, es un gas incoloro de olor muy penetrante y nauseabundo. Se produce naturalmente por descomposición de la materia orgánica y también se fabrica industrialmente. Se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente. Generalmente se vende en forma líquida.

La cantidad de amoníaco producido industrialmente cada año es casi igual a la producida por la naturaleza. El amoníaco es producido naturalmente en el suelo por bacterias, por plantas y animales en descomposición y por desechos animales. El amoníaco es esencial para muchos procesos biológicos.

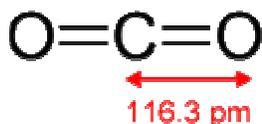
El amoniaco es fácilmente biodegradable las plantas lo absorben con mucha facilidad eliminándolo del medio, de hecho es un nutriente muy importante para su desarrollo. Aunque concentraciones muy altas en el agua, como todo nutriente, puede causar graves daños en un río o estanque, ya que el amoniaco interfiere en el transporte de oxígeno por la hemoglobina. Es una fuente importante de nitrógeno que necesitan las plantas y los animales. Las bacterias que se encuentran en los intestinos pueden producir amoníaco.

La mayor parte (más del 80%) del amoníaco producido en plantas químicas es usado para fabricar abonos y para su aplicación directa como abono. El resto es usado en textiles, plásticos, explosivos, en la producción de pulpa y papel, alimentos y bebidas, productos de limpieza domésticos, refrigerantes y otros productos. También se usa en sales aromáticas⁴⁶.

1.5.2 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono, también denominado óxido de carbono (IV) y anhídrido carbónico, es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula química es CO_2 .

Su representación por estructura de Lewis es: $O=C=O$. Es una molécula lineal y no polar, a pesar de tener enlaces polares. Esto se debe a que dada la hibridación del carbono la molécula posee una geometría lineal y simétrica.



El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que tiene un ligero sabor ácido. También puede ser un gas comprimido y licuificado o tener forma de escamas o cubos blancos. En forma sólida, se usa como hielo seco. El dióxido de carbono puede encontrarse en su forma natural en el agua de manantiales y se libera cuando los volcanes entran en erupción y durante la tala de árboles. Al respirar, las personas exhalan dióxido de carbono. También puede ser producido por la quema de combustibles fósiles, como carbón, petróleo, gasolina y gas natural. Su fórmula química es CO_2 .

⁴⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Amon%C3%ADaco>

El dióxido de carbono se usa para refrigeración, fabricación de bebidas gaseosas y cerveza y producción de otras sustancias químicas, incluso metanol. Entre las industrias que usan dióxido de carbono cabe citar la extinción de incendios; la elaboración, conservación y congelación de alimentos; la metalistería; el sacrificio de ganado; la recuperación de petróleo y gas; y las fundiciones. El dióxido de carbono se usa en fertilizantes, propulsores en aerosol, aspirina y cilindros para inflar balsas salvavidas. También se usa para producir humo o vapores inocuos en escenarios, enfriar el centro de las bolas de golf antes del enrollado y fumigar arroz.

En la atmósfera, el dióxido de carbono es parte del ciclo mundial del carbono entre la atmósfera, el mar, la tierra, la vida marina y las minas de minerales. Es un “gas con efecto de invernadero” porque absorbe el calor en la atmósfera, envía parte del calor absorbido de nuevo a la superficie de la tierra y contribuye a su calentamiento. Las emisiones de dióxido de carbono representan alrededor de 80% de todas las emisiones de gas con efecto de invernadero en los Estados Unidos. Las fuentes de emisión de dióxido de carbono incluyen la quema de combustibles fósiles, la producción de electricidad, los vehículos de transporte, la fabricación de cemento o de cal, la quema de desechos y las llamaradas producidas por el gas natural⁴⁷.

1.5.2 Monóxido de carbono

El monóxido de carbono, cuya fórmula química es CO, es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. Se produce cuando se queman materiales combustibles como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera en ambientes de poco oxígeno. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua o calefones y los aparatos domésticos que queman combustible, como las estufas u hornallas de la

⁴⁷http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono

cocina o los calentadores a kerosina, también pueden producirlo si no están funcionando bien. Los vehículos detenidos con el motor encendido también lo despiden.



Cuando usamos combustibles (como la gasolina de tu automóvil), producimos CO. Puede ser que estés respirando altos niveles de CO en los alrededores de calles o intersecciones muy transitadas. Otras fuentes de CO incluyen casi cualquier objeto con motor, plantas eléctricas que utilizan carbón, gas o petróleo, e incineradores de basura. Dentro de tu casa, el CO puede provenir del horno, aparato de calefacción, de una chimenea donde se queme leña o del humo de un cigarrillo⁴⁸.

1.5.2 Hidrógeno

El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo **H** y con un número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico (H₂) incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Con una masa atómica de 1,00794(7)u, el hidrógeno es el elemento químico más ligero y es, también, el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia del universo.

En su ciclo principal, las estrellas están compuestas por hidrógeno en estado de plasma. El hidrógeno elemental es muy escaso en la tierra y es producido industrialmente a partir de hidrocarburos como, por ejemplo, el metano. La mayor parte del hidrógeno elemental se obtiene “in situ”, es decir, en el lugar y en el momento en el que se necesita. El hidrógeno puede obtenerse a partir del agua

⁴⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Mon%C3%B3xido_de_carbono

por un proceso de electrólisis, pero resulta un método mucho más caro que la obtención a partir del gas natural.

Sus principales aplicaciones industriales son el refinado de combustibles fósiles (por ejemplo, el hidrocracking) y la producción de amoníaco (usado principalmente para fertilizantes).

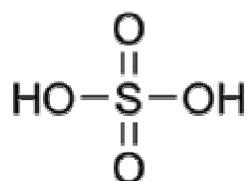
El isótopo del hidrógeno más común en la naturaleza, conocido como ¹H, tiene un solo protón y ningún neutrón. En los compuestos iónicos, el hidrógeno puede adquirir carga positiva (convirtiéndose en un catión compuesto únicamente por el protón) o negativa (convirtiéndose en un anión conocido como hidruro).

El hidrógeno puede formar compuestos con la mayoría de los elementos y está presente en el agua y en la mayoría de los compuestos orgánicos. Desempeña un papel particularmente importante en la química ácido-base, en la que muchas reacciones conllevan el intercambio de protones entre moléculas solubles. Puesto que es el único átomo neutro para el cual la ecuación de Schrodinger puede ser resuelta analíticamente, el estudio de la energía y del enlace del átomo de hidrógeno ha sido fundamental para el desarrollo de la mecánica cuántica⁴⁹.

1.5.2 Acido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizante. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

⁴⁹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3geno>



Generalmente se obtiene a partir de dióxido de azufre, por oxidación con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa. Normalmente después se llevan a cabo procesos para conseguir una mayor concentración del ácido. Antiguamente se lo denominaba aceite o espíritu de vitriolo, porque se producía a partir de este mineral.

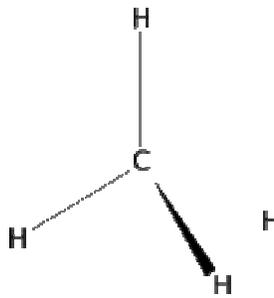
La molécula presenta una estructura piramidal, con el átomo de azufre en el centro y los cuatro átomos de oxígeno en los vértices. Los dos átomos de hidrógeno están unidos a los átomos de oxígeno no unidos por enlace doble al azufre. Dependiendo de la disolución, estos hidrógenos se pueden disociar. En agua se comporta como un ácido fuerte en su primera disociación, dando el anión hidrogenosulfato y como un ácido débil en la segunda, dando el anión sulfato.

Además reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor⁵⁰.

1.5.2 Metano

El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, es un gas. Su fórmula química es CH_4 .

⁵⁰ http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_sulf%C3%BArico



Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida.

En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas, este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Puede constituir hasta el 97% del gas natural. En las minas de carbón se le denomina grisú y es muy peligroso por su facilidad para inflamarse.

Los orígenes principales de metano son:

- Descomposición de los residuos orgánicos
- Fuentes naturales (pantanos): **23%**
- Extracción de combustibles fósiles: **20%** (el metano tradicionalmente se quemaba y emitía directamente. Hoy día se intenta almacenar en lo posible para reaprovecharlo formando el llamado gas natural).
- Los procesos en la digestión y defecación de animales. **17%**. (Especialmente del ganado).
- Las bacterias en plantaciones de arroz: **12%**
- Digestión anaeróbica de la biomasa

El 60% de las emisiones en todo el mundo es de origen antropogénico. Vienen principalmente de actividades agrícolas y otras actividades humanas. La concentración de este gas se ha incrementado de 0,8 a 1,7 ppm⁵¹.

1.5.2 Nitrógeno

Elemento químico, símbolo **N**, número atómico 7, peso atómico 14.0067; es un gas en condiciones normales. El nitrógeno molecular es el principal constituyente de la atmósfera (78% por volumen de aire seco). Esta concentración es resultado del balance entre la fijación del nitrógeno atmosférico por acción bacteriana, eléctrica (relámpagos) y química (industrial) y su liberación a través de la descomposición de materias orgánicas por bacterias o por combustión. En estado combinado, el nitrógeno se presenta en diversas formas. Es constituyente de todas las proteínas (vegetales y animales), así como también de muchos materiales orgánicos. Su principal fuente mineral es el nitrato de sodio.

Gran parte del interés industrial en el nitrógeno se debe a la importancia de los compuestos nitrogenados en la agricultura y en la industria química; de ahí la importancia de los procesos para convertirlo en otros compuestos. El nitrógeno también se usa para llenar los bulbos de las lámparas incandescentes y cuando se requiere una atmósfera relativamente inerte.

El nitrógeno elemental tiene una reactividad baja hacia la mayor parte de las sustancias comunes, a temperaturas ordinarias. A altas temperaturas, reacciona con cromo, silicio, titanio, aluminio, boro, berilio, magnesio, bario, estroncio, calcio y litio para formar nitruros; con O₂, para formar NO, y en presencia de un catalizador, con hidrógeno a temperaturas y presión bastante altas, para formar

⁵¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Metano>

amoniaco. El nitrógeno, carbono e hidrógeno se combinan arriba de los 1800°C (3270°F) para formar cianuro de hidrógeno.

Cuando el nitrógeno molecular se somete a la acción de un electrodo de descarga condensada o a una descarga de alta frecuencia se activa en forma parcial a un intermediario inestable y regresa al estado basal con emisión de un resplandor amarillo oro.

La adición de Nitrógeno enlazado en el ambiente tiene varios efectos. Primeramente, puede cambiar la composición de especies debido a la susceptibilidad de ciertos organismos a las consecuencias de los compuestos de nitrógeno. Segundo, la mayoría del nitrito puede tener varios efectos sobre la salud de los humanos así como en animales. La comida que es rica en compuestos de Nitrógeno puede causar una pérdida en el transporte de oxígeno en la sangre, lo que puede tener consecuencias serias para el ganado⁵².

1.5.2 Oxígeno

Elemento químico gaseoso, símbolo **O**, número atómico 8 y peso atómico 15.9994. Es de gran interés por ser el elemento esencial en los procesos de respiración de la mayor parte de las células vivas y en los procesos de combustión. Es el elemento más abundante en la corteza terrestre. Cerca de una quinta parte (en volumen) del aire es oxígeno.

El oxígeno gaseoso no combinado suele existir en forma de moléculas diatómicas, O₂, pero también existe en forma triatómica, O₃, llamada ozono.

El oxígeno se separa del aire por licuefacción y destilación fraccionada. Las principales aplicaciones del oxígeno en orden de importancia son:

⁵² <http://es.wikipedia.org/wiki/Nitr%C3%B3geno>

- 1) Fundición, refinación y fabricación de acero y otros metales.
- 2) Manufactura de productos químicos por oxidación controlada.
- 3) Propulsión de cohetes.
- 4) Apoyo a la vida biológica y medicina.
- 5) Minería, producción y fabricación de productos de piedra y vidrio.

En condiciones normales el oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido; se condensa en un líquido azul claro. El oxígeno es parte de un pequeño grupo de gases ligeramente paramagnéticos, y es el más paramagnético de este grupo. El oxígeno líquido es también ligeramente paramagnético.

Casi todos los elementos químicos, menos los gases inertes, forman compuestos con el oxígeno. Entre los compuestos binarios más abundantes de oxígeno están el agua, H_2O , y la sílica, SiO_2 ; componente principal de la arena. De los compuestos que contienen más de dos elementos, los más abundantes son los silicatos, que constituyen la mayor parte de las rocas y suelos. Otros compuestos que abundan en la naturaleza son el carbonato de calcio (caliza y mármol), sulfato de calcio (yeso), óxido de aluminio (bauxita) y varios óxidos de hierro, que se utilizan como fuente del metal.

Todo ser humano necesita oxígeno para respirar, pero como ocurre con muchas sustancias un exceso de oxígeno no es bueno. Si uno se expone a grandes cantidades de oxígeno durante mucho tiempo, se pueden producir daños en los pulmones. Respirar un 50-100% de oxígeno a presión normal durante un periodo prolongado provoca daños en los pulmones. Las personas que en su trabajo sufren exposiciones frecuentes o potencialmente elevadas a oxígeno puro, deben hacerse un chequeo de funcionamiento pulmonar antes y después de desempeñar ese trabajo. El oxígeno es normalmente almacenado a temperaturas muy bajas y

por lo tanto se deben usar ropas especiales para prevenir la congelación de los tejidos corporales⁵³.

1.5. CONTROL DE GASES

Se controlan los movimientos de los gases del relleno sanitario para reducir las emisiones atmosféricas, para la salida de emisiones olorosas, la migración superficial del gas, y para permitir la recuperación de energía a partir del metano. Los sistemas de control se pueden clasificar como pasivos y activos; en los sistemas de control pasivo se utiliza energía en forma de vacío inducido para controlar el flujo del gas, logrando el control para ambos gases, principales y oligogases, mientras se están produciendo los gases principales a altas velocidades, proporcionando caminos de más alta permeabilidad para guiar el flujo del gas en la dirección deseada⁵⁴.

Para mantener bajo control todo el proceso del gas de relleno es muy importante regular la presión de aspiración y la de impulsión. Las unidades de ventilación impelente pueden trabajar a diferentes velocidades de rotación mediante inversores de frecuencia. Es de vital importancia controlar la presión de aspiración del sistema de tuberías. A su vez, la presión de aspiración de cada pozo puede controlarse manualmente ajustando las válvulas de los colectores. Cuanto mayor sea la presión de aspiración del pozo de gas, tanto mayor será su capacidad. Cuanto menor sea la presión de aspiración del pozo, tanto mayor será la calidad del metano que contenga el gas del relleno⁵⁵.

La operación de un relleno sanitario (digestor) genera, como principales contaminantes, líquidos percolados y biogás, los que de no ser controlados por

⁵³<http://es.wikipedia.org/wiki/Ox%C3%ADgeno>

⁵⁴PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

⁵⁵ www.sergelsa.galeon.com/cvitae1631425.html

métodos apropiados pueden dar origen a graves problemas de contaminación, que a su vez impactan negativamente en la calidad de vida de los seres vivos.

Siempre han ocurrido incidentes debido al gas de relleno sanitario, pero en los últimos años ha existido una tendencia al aumento. La razón para el aumento se atribuye a cambios en la composición de los residuos sólidos domiciliarios y al aumento en la generación de los residuos sólidos que ha provocado la necesidad de contar con rellenos sanitarios de mayor volumen.

Los principales impactos causados por el gas de relleno pueden ser agrupados en las siguientes categorías:

- Daños en las construcciones, determinado por explosiones y fuegos.
- Daños en la vegetación, reflejado en una degradación del follaje y de la zona radicular.
- Contaminación del aire, principalmente por emisiones de gas metano y su efecto invernadero.
- Impacto social, reflejado en malos olores, asfixia y explosión o fuegos⁵⁶.

Para el control de gases en los rellenos sanitarios existen diferentes métodos de los cuales tenemos los siguientes:

⁵⁶ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

1.5.1 Ventilación para rebajar la presión / quemadores en la cobertura del relleno sanitario

Uno de los métodos más comunes para controlar los gases del relleno sanitario se basa en el hecho de poder reducir la migración lateral de los gases rebajando la presión del gas dentro del relleno sanitario. Para lograr este propósito se instalan chimeneas a través de la cobertura final, extendiéndose hacia abajo en la masa de residuos sólidos. Si la concentración de metano en el gas que está sacando es mayor a un 40%, se pueden conectar varias chimeneas y equiparlas con un quemador de gas. Cuando se utilizan quemadores del gas residual, la chimenea debe penetrar en la celda de residuo. La altura del quemador puede variar de 3 a 6m por encima. Para conseguir el máximo beneficio de la instalación de un quemador de gas se debería utilizar la llama piloto. Hay que resaltar, sin embargo, que las chimeneas pasivas con quemadores quizás no logran una destrucción eficaz de los olores y de los compuestos orgánicos volátiles, no alcanzando las exigencias para el control de la calidad del aire de muchas agencias urbanas, y por lo tanto, no se considera su utilización como una buena práctica⁵⁷.

1.5.2 Zanjas perimetrales de intersección

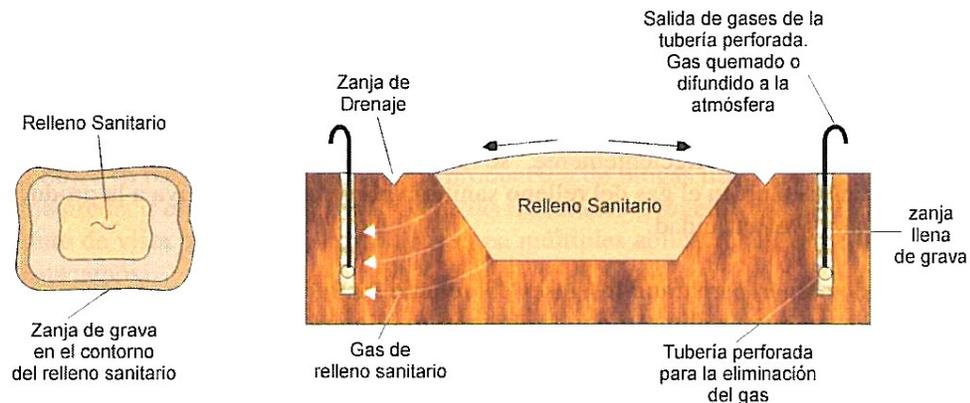
Para interceptar el movimiento lateral de los gases del relleno sanitario se puede utilizar un sistema de zanjas perimetrales, que consiste en zanjas interceptoras llenas de grava, que contienen tuberías horizontales de plástico perforado. La tubería está conectada a chimeneas verticales a través de las cuales el gas que se acumula en el relleno del fondo de la zanja puede dirigirse hacia la atmósfera. Para facilitar la recogida del gas en la zanja frecuentemente se instala un

⁵⁷ PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

recubrimiento de membrana en su pared hacia la parte exterior del relleno sanitario⁵⁸.

En la siguiente figura numero 1 se muestra uno de los métodos de control de gases.

Figura 1. Zanjas interceptoras llenas de gravas



Fuente, PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos, Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

1.5.3 Zanja perimétrica barrera

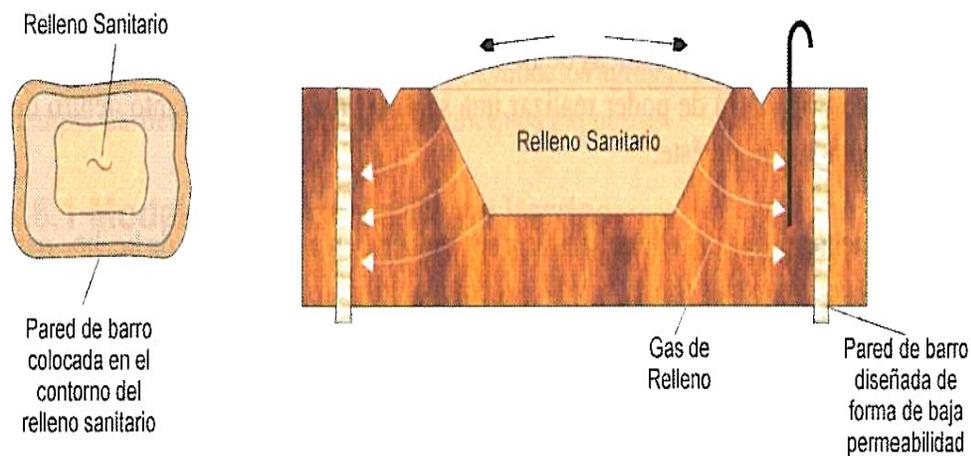
Las zanjas barreras normalmente se llenan con materiales relativamente impermeables, como bentonita o pastas de arcilla; en este caso, la zanja se convierte en una barrera física para el movimiento lateral subsuperficial. El gas de relleno sanitario se separa de la cara interna de la barrera con chimeneas para la extracción del gas o con zanjas llenas de grava. Sin embargo, las zanjas pueden

⁵⁸ PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

sufrir rotura por desecación, y por lo tanto se utiliza más en proyectos para la interceptación de aguas superficiales⁵⁹.

En la siguiente figura numero 2 se ilustra un esquema de un método de control de gases.

Figura 2. Zanjas perimétricas llenas con material poco impermeable (barro)



Fuente, PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos, Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

1.5.4 Barrera impermeable dentro del relleno sanitario

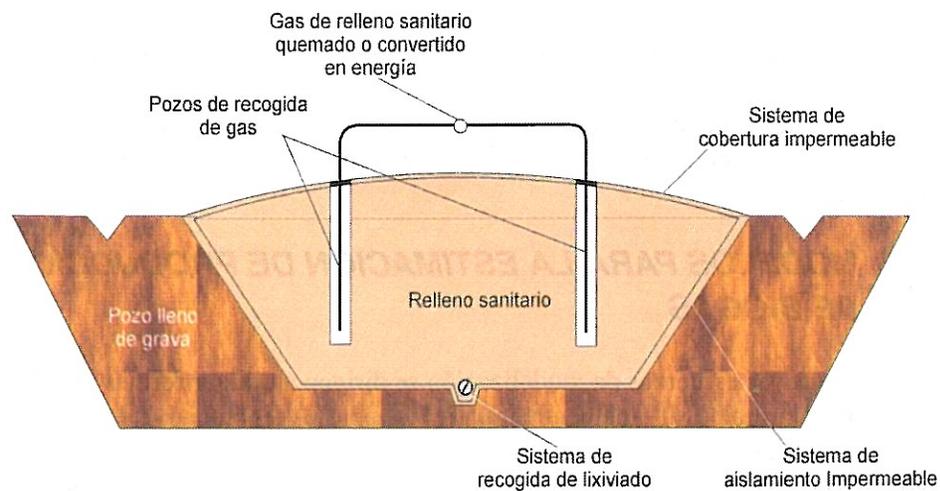
En los rellenos sanitarios modernos, el movimiento de los gases a través de las formaciones adyacentes del suelo se controla, antes de comenzar las operaciones de relleno, con la construcción de barreras de materiales que son más impermeables que el suelo. Para controlar los lixiviados, lo más común es el

⁵⁹ PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

uso de arcillas compactadas y geomembranas, de varias clases, sencillas o en configuraciones multilaminares. Como los principales gases y los oligogases se distribuirán a través de los recubrimientos de arcilla⁶⁰.

En la siguiente figura numero 3 se muestra una ilustración de uno de los métodos de control de gases.

Figura 3. Barrera impermeable en el relleno sanitario



Fuente, PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos, Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

1.6 SISTEMA DE DRENAJES DE GAS

El gas de relleno se puede evacuar con drenaje activo o pasivo. El drenaje activo consiste en la succión del gas mediante un soplador. Cuando se hace el drenaje pasivo, se controla la difusión natural de los gases, con el fin de evacuarles

⁶⁰ PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

solamente por los orificios previstos. Se logra una mayor eficiencia con el drenaje activo, pero los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos⁶¹.

1.6.1 Drenaje pasivo

1.6.1.1 Drenaje pasivo sin chimeneas

En un relleno compactado, el gas de relleno se mueve con preferencia horizontalmente en las capas de basura. Se difunde por la capa superficial del cuerpo de basura o por los taludes Laterales, se mezclan con el aire y se diluyen. La cubierta con tierra tiene un impacto como filtro biológico, es decir que ya existe un cierto tratamiento de los gases de relleno antes de que se mezclen con la atmósfera. Es verdad que en la práctica el drenaje pasivo sin chimeneas provoca algunos problemas, los más importantes son los siguientes:

- ❖ En las celdas ya terminadas, cubiertas y planteadas, se puede impedir el suministro de aire de las raíces por causa de la concentración alta de metano en la capa de tierra.
- ❖ Cuando existen fisuras en los taludes o la superficie del relleno, los gases se difunden por las fisuras sin pasar por el filtro biológico que constituye la capa de tierra.
- ❖ Si se descarga lodo o basura muy húmeda en el relleno, o si el relleno está expuesto a demasiada lluvia, se pierde el impacto de filtro biológico.

⁶¹ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

- ❖ Si se produce una cantidad muy alta de gas de relleno o si el gas se difunde solamente en algunos puntos definidos y no por la superficie entera, hay demasiada carga al filtro biológico y el filtro pierde su eficiencia.
- ❖ En el páramo o en la estación fría en la sierra no accede suficiente oxígeno a los microorganismos en la capa de tierra y el filtro biológico no funciona adecuadamente⁶².

El drenaje pasivo se puede aplicar en rellenos cerrados o en rellenos operados. En un relleno todavía en operación, la capa actual de superficie sirve como filtro biológico. Para eso es muy importante que se cubra diariamente la basura con una capa suficiente de tierra. Si se implementa en una celda que ya terminó su vida útil, se pueden recomendar 2 tipos de procedimiento:

a) Orificios sirviendo como filtros biológicos

La celda se cierra y se cubre con tierra bien compactada. Se dejan orificios en esta cubierta de tierra y se llenan con compost. No se compacta el compost en estos orificios debe ser suelto para tener la eficiencia óptima como filtro biológico.

b) Celdas cubiertas con compost

Si el municipio en cuestión dispone de una planta de compostaje, y las celdas del relleno son relativamente pequeñas, se puede también recomendar la alternativa de no compactar la capa superficial del cuerpo de basura. En este caso, se coloca una capa de compost con el espesor de 50cm sobre la celda cerrada. Esta capa

⁶² COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

serviría como filtro biológico. Como la superficie de este filtro es muy extendida, la carga de contaminantes por área es sumamente baja, lo que asegura una eficiencia óptima.

Generalmente no se recomienda el drenaje pasivo sin chimeneas. Solamente se puede preferir este método en los siguientes casos:

- Municipalidad pequeña que no tiene los recursos personales para construir chimeneas durante la operación del relleno sanitario.
- Evacuación de gases de relleno en un botadero cerrado que no tiene ningún dispositivo para el drenaje.
- Relleno pequeño manual con mala compactación. Aquí hay un mayor porcentaje de gas que se difunde por la superficie del cuerpo de basura, ya que la difusión vertical no se impide por la compactación⁶³.

1.6.1.2 Drenaje pasivo con chimenea

Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas hay que construir las chimeneas de drenaje durante la operación del relleno sanitario. Aquí se aprovecha de la difusión horizontal del gas de relleno. El gas se difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Las chimeneas tienen una alta permeabilidad para el gas y por consecuencia queda muy baja la cantidad de gas que no se difunde por la chimenea, pero por la superficie del cuerpo de basura sí. Las chimeneas de drenaje se pueden construir de dos maneras:

- Jaula de malla con 4 puntales de madera, llenada con piedra bola o grava.

⁶³ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

- Tubo perforado llenado con piedra bola o grava Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas, es muy importante que se quemé el gas de relleno que sale de las chimeneas. Si no, las chimeneas constituyen un peligro importante para los obreros y recicladores en el relleno, porque los gases de relleno salen casi sin dilución de las chimeneas⁶⁴.

Se puede quemar el gas de relleno dentro de la chimenea, protegiendo los puntales y la malla con un tubo de hormigón o un capuchón metálico. Este capuchón se puede fabricar de barriles o latas abandonadas. La chimenea donde se incinera el gas no debe ser más elevada que la celda para evitar que se mezcle el aire ambiental con el gas combustible. Con la incineración controlada del gas puro de relleno se evita también el peligro de explosión que siempre existe cuando se mezcla el metano con la atmósfera⁶⁵.

Es más fácil incinerar los gases en una chimenea que se encuentra en una celda ya cerrada, pues se queda igual el nivel de la celda, pero es también posible incinerar los gases en una celda en operación. Aquí hay que apagar el fuego en la chimenea y elevarla paralelamente con el crecimiento de la celda. Este trabajo se debería hacer cada 2 semanas o cada mes, dependiendo del tamaño del relleno⁶⁶.

1.6.2 Drenaje activo

En los sistemas de drenaje activo, se succiona el gas con un soplador que se conecta con las chimeneas. Se conducen los gases hacia el incinerador por un sistema de tubería bajo el cuerpo de basura, como se muestra en la figura 4.

⁶⁴ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁶⁵ SCHMIDT. Félix. Valoración del biogás en un relleno sanitarios seminario internacional de residuos sólidos y peligrosos, siglo XXI.

<http://www.resol.com.br/textos/valoracion%20del%20biogas.pdf>

⁶⁶RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

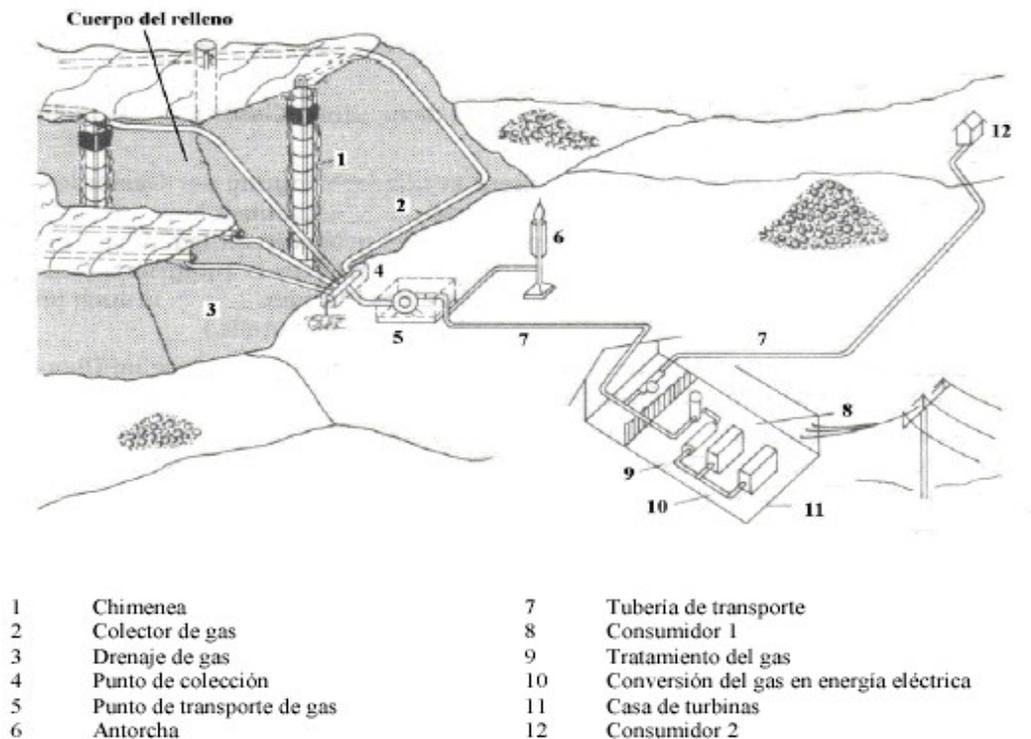
El sistema de drenaje activo consiste de los siguientes elementos:

- ✓ **Colectores de gas:** Estos son las chimeneas verticales y la tubería horizontal que se colocan en el cuerpo de basura.
- ✓ **Punto de recolección:** El gas aspirado en diferentes chimeneas se conduce a ellas y se junta. El punto de recolección puede ser un tanque o un tubo. Se recomienda ubicar el punto de recolección en un nivel abajo de la tubería y de las chimeneas, con el fin de poder condensar en este lugar las aguas contenidas en el gas de relleno. Se debe colocar equipo de medición y ajuste en el punto de recolección.
- ✓ **Separador de agua:** Las aguas condensadas se separan del flujo de gas mediante un sifón o equipo refrigerador; después se manda con una bomba hacia la planta de tratamiento de las aguas lixiviadas.
- ✓ **Tubo de aspiración de gas:** Este es el tubo que conecta el punto de colección con el soplador. Ajuste de presión y soplador: El soplador produce depresión para succionar los gases del cuerpo de relleno, y sobrepresión para mandar los gases al incinerador. El ajuste de presión mantiene la depresión y la sobrepresión en el nivel óptimo. La presión necesaria para la succión es entre 200 - 300 mbar.
- ✓ **Casa del soplador:** En rellenos medianos o pequeños, el soplador se puede colocar en un galpón semiabierto con techo o en un contenedor. Para rellenos grandes, se recomienda colocar el soplador en el mismo edificio que el incinerador.
- ✓ **Tubo de transporte:** Este es el tubo que conduce los gases con sobrepresión hacia el incinerador.

- ✓ **Antorcha:** Unidad donde se quema el gas bajo control.
- ✓ **Incinerador:** Unidad compuesta de la antorcha, del equipo para aprovechar la energía de incineración y de los equipos auxiliares (tratamiento del gas, separación de gases, ajustes etc.)⁶⁷.

En la siguiente figura numero 4 se muestra un sistema de drenaje activo con todas las unidades:

Figura 4. Sistema de drenaje activo con todas las unidades



Fuente, COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁶⁷ RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

1.6.2.1 Chimeneas y tubería para el drenaje activo

Se deben considerar los siguientes puntos durante el diseño de un sistema de drenaje activo para los gases de relleno:

- La depresión debe ser eficiente en todo el cuerpo de basura.
- Se debe minimizar la cantidad de aire succionado por el soplador.
- El sistema debe tener una larga vida útil.
- La capacidad de succión debe ser apropiada a la cantidad de gas.
- Los tubos de succión deben ser lo más corto posible, para no tener demasiadas pérdidas de presión⁶⁸.

Cuando se diseña el sistema de drenaje activo junto con el relleno, generalmente se utiliza tubería horizontal colocada en diferentes niveles del cuerpo de basura para aspirar los gases. Si se debe añadir el sistema de drenaje activo a un relleno ya cerrado, es posible perforar el cuerpo de basura para poder colocar chimeneas verticales.

Con sistemas activos de drenaje, se puede evacuar un 40 - 45 % del gas de relleno. Es importante que la concentración del metano sobre la superficie del relleno no exceda 80 ppm⁶⁹.

⁶⁸ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁶⁹ www.sergelsa.galeon.com/cvitae1631425.html

1.7 TRATAMIENTO DEL GAS

1.7.1 Quemado

El biogás se puede quemar en antorchas, o se puede instalar sistemas que lo reutilicen de alguna manera y permitan una quema más productiva. Existen varias posibilidades para su reutilización, se puede inyectar a una red de gas urbano o de ciudad, se puede generar energía eléctrica, se puede utilizar para generar vapor para procesos productivos, o en una combinación de calor y energía⁷⁰.

1.7.1.1 Incineración con antorcha

Si no se aprovecha el gas de relleno produciendo energía eléctrica, se puede incinerar el gas de relleno con antorchas. La incineración con antorcha es un método similar a la incineración controlada en la chimenea, que no aprovecha de la energía de la incineración para producir electricidad.

Se ha desarrollado antorchas especiales donde se queman los gases de relleno con adición controlada de aire. Las antorchas para la incineración del gas de relleno disponen de encendedores automáticos, un sistema de control de la llama y de la temperatura, una válvula automática para apagar y un ajuste del flujo de aire. En las antorchas convencionales, el gas de relleno se quema con una temperatura de aproximadamente 1000°C. Existen también antorchas para incineración con alta temperatura, que queman los gases con 1200°C y con las cuales se logra un mejor control de la generación de dioxinas durante el proceso

⁷⁰ SCHMIDT. Félix. Valoración del biogás en un relleno sanitarios seminario internacional de residuos sólidos y peligrosos, siglo XXI.
<http://www.resol.com.br/textos/valoracion%20del%20biogas.pdf>

de incineración. Los costos de inversión y de operación son más altos para las antorchas de alta temperatura⁷¹.

1.7.2 Procesamiento de gas y recuperación de energía

El uso directo del biogás en una red de gas urbano requeriría de procesos adicionales de limpieza y enriquecimiento debido a su menor pureza y a los efectos destructivos sobre los equipos de los demás gases constituyentes de la mezcla. El uso como combustible para vehículos también requeriría de limpieza adicional. La producción de agua caliente y calor podría ser útil si existe demanda cercana⁷².

Por otro lado, la conversión del biogás a energía eléctrica a través de turbinas a gas o motores generadores de combustión interna se puede distribuir a través de la red eléctrica o puede ser utilizada por el consumidor más cercano, reemplazando o desplazando la generación de centrales termoeléctricas más caras y más contaminantes⁷³.

1.8 RECOLECCIÓN DE BIOGÁS

En esta sección se describe el proceso que permite recolectar el biogás generado en los rellenos sanitarios, especificando cuáles son las técnicas que permiten hacerlo. En términos generales, el proceso de recuperación de biogás comienza

⁷¹COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁷²BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

⁷³www.sergelsa.galeon.com/cvitae1631425.html

con la instalación de un sistema de desgasificación, el cual se compone de tres sistemas principales: captación de gases, conducción y control y transporte.

La **captación** se realiza mediante una red de pozos verticales o zanjas horizontales, según la profundidad del vaso de vertido, las que se distribuyen regularmente por toda la superficie del vertedero. En ellas se introducen tuberías (normalmente de polietileno) que están ranuradas en un 20 a 30% de su longitud para que penetre el gas y completamente selladas en su superficie para evitar entradas de oxígeno al caudal de gas y salidas de éste a la atmósfera.

La **conducción y control** de los gases hasta los colectores principales se hace, a grandes rasgos, tendiendo tuberías desde la cabeza de los pozos hasta los colectores y poniendo la valvulería de medición y control de los caudales aportados por cada pozo. Así se busca mantener constante el porcentaje de metano en el biogás que llega a la combustión, controlando los niveles de oxígeno presentes en el gas mediante la presión de aspiración para que no exista la posibilidad de que la mezcla metano-oxígeno se vuelva explosivo.

El **transporte** de gases hasta la estación de aspiración se realiza mediante colectores de mayor diámetro a los que se conectan los ramales de conducción. Para el correcto funcionamiento de estas líneas, se debe eliminar la condensación que se forma al interior de las tuberías por el cambio térmico entre el interior del vertedero (35°C) y la gran saturación en vapor de agua del gas (50°C)⁷⁴.

⁷⁴ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

1.8.1 Técnicas

Para extraer el biogás de un relleno sanitario, en general se utilizan las siguientes técnicas:

1.8.1.1 Contención

Se instalan barreras impermeables alrededor del relleno en preparación para la extracción y recolección del biogás.

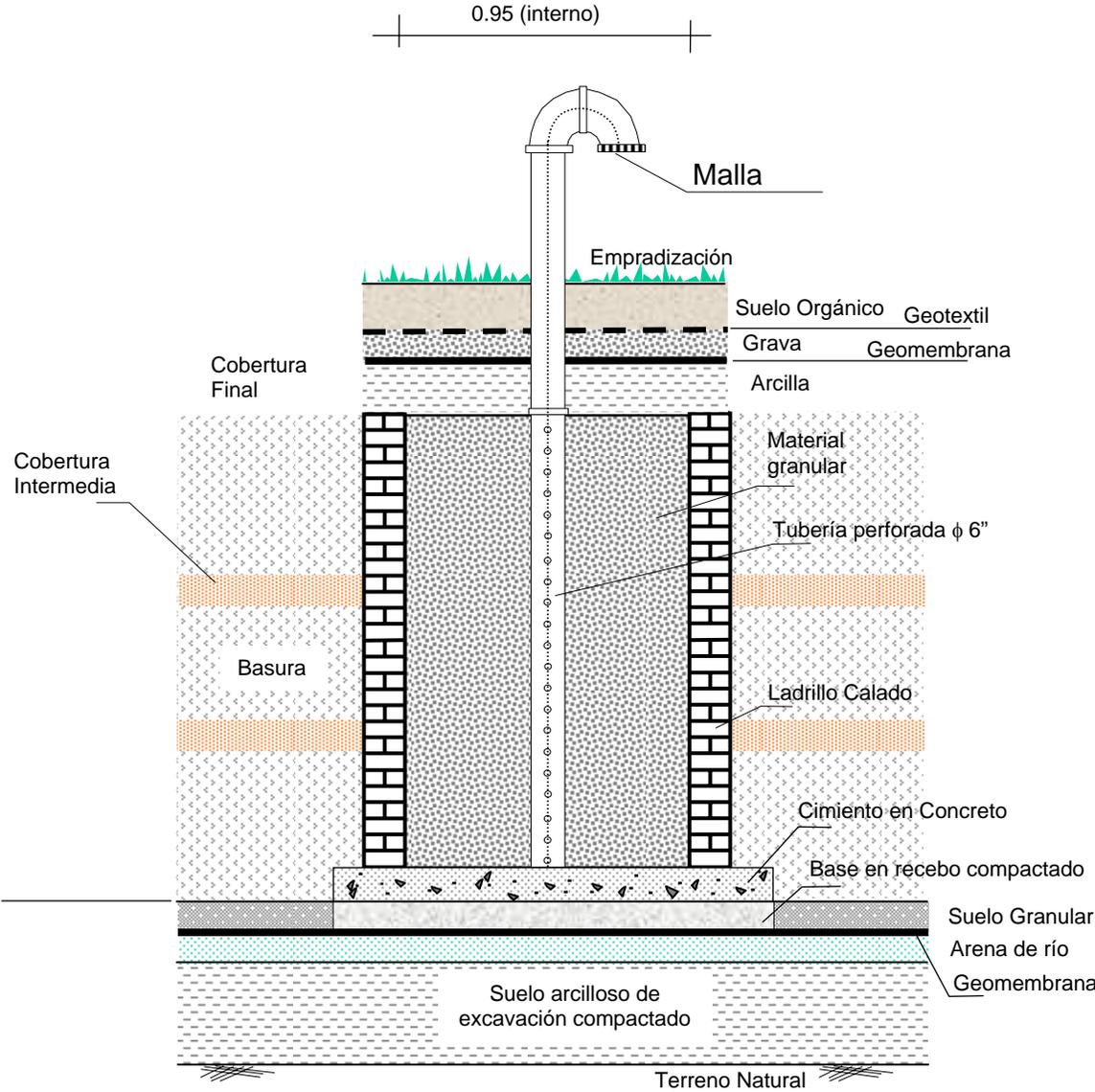
1.8.1.2 Ventilación pasiva

Se cavan trincheras rellenas con material granulado (por ejemplo: gravilla) alrededor del relleno. Esto rodea las celdas con un área de alta permeabilidad que permite al gas escapar y ser recolectado⁷⁵.

En la siguiente figura numero 5 se muestra un esquema de una chimenea que es utilizada para la extracción pasiva de biogás.

⁷⁵ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

Figura 5. Chimenea para la extracción pasiva de biogás.



Fuente, Diseño, construcción y operación del sistema de extracción activa de biogás en la zona la mansión. ESCO de Latinoamérica Ltda. 1999.

1.8.1.3 Ventilación activa

Se instalan corredores o pozos de alta permeabilidad interconectados mediante una red de tuberías que permite recolectar el biogás, usualmente con la adición de una pequeña presión de succión.

El biogás se puede dejar escapar a la atmósfera, se puede quemar en antorchas o utilizar para generar energía. La literatura especializada sugiere que el sistema se puede instalar durante el proceso de relleno de cada celda o después que la celda se haya completado. Si se lo hace durante el proceso de llenado, normalmente el sistema consiste en drenajes horizontales combinados con pozos de recolección. En estos casos se logran rendimientos mayores de recolección. Sin embargo esta modalidad usualmente acarrea problemas operacionales al interrumpir las operaciones de descarga de los camiones, dificultades para realizar la compactación cerca de los pozos y asentamiento disperejo de la basura alrededor de ellos⁷⁶.

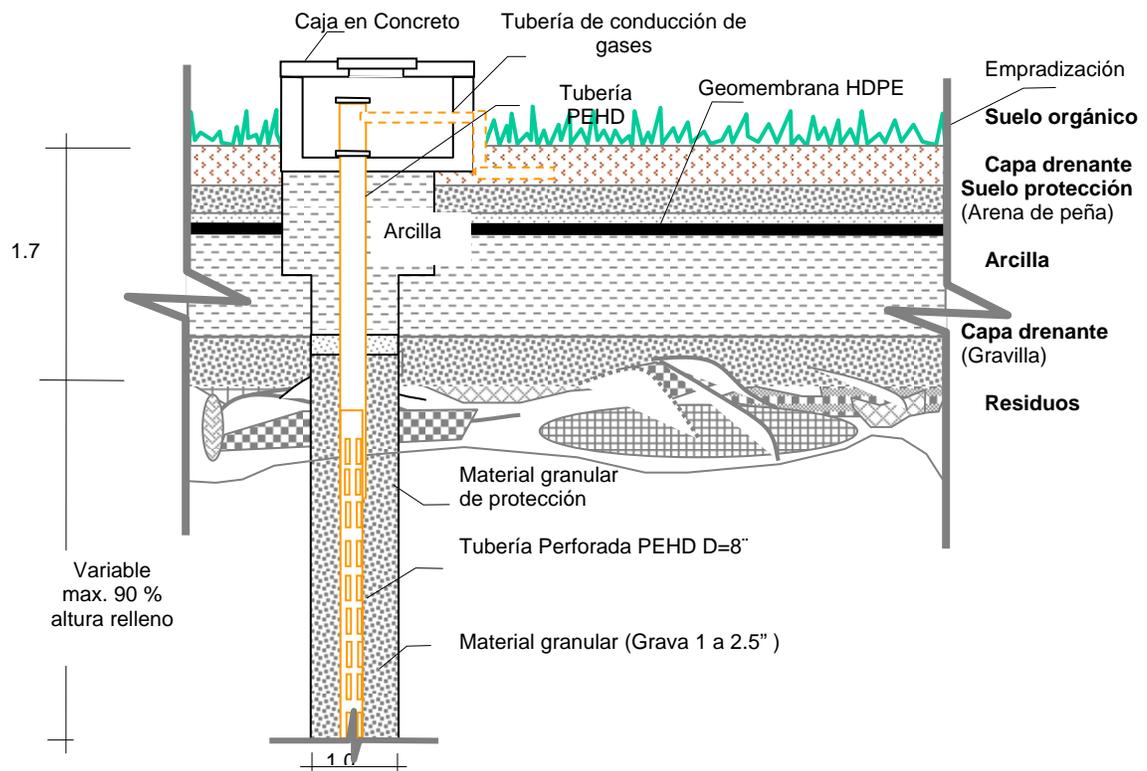
Si se instalan después de que las celdas ya han sido rellenas el sistema consistirá en pozos perforados, lo que facilita la instalación y operación de los equipos, pero reduce el volumen total de biogás recolectado y aumentaría los costos. La capacidad de succión de las bombas es crucial para la extracción óptima del biogás y debiera ser diseñada para obtener un flujo máximo de biogás entre 2 y 7 años después de que la celda ha sido completada. También se recomienda la instalación de unidades de monitoreo para controlar y evitar la infiltración de aire a los pozos de extracción de manera de optimizar la extracción. Además, se sugiere instalar sistemas de recirculación e inyección, en lo posible en cada celda, de los

⁷⁶ BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

líquidos percolados de manera de potenciar la generación de gas acelerando los procesos de descomposición⁷⁷.

En la siguiente figura numero 6 se muestra un esquema de una chimenea que es utilizada para la extracción activa de biogás.

Figura 6. Chimenea de extracción activa de biogás y CF

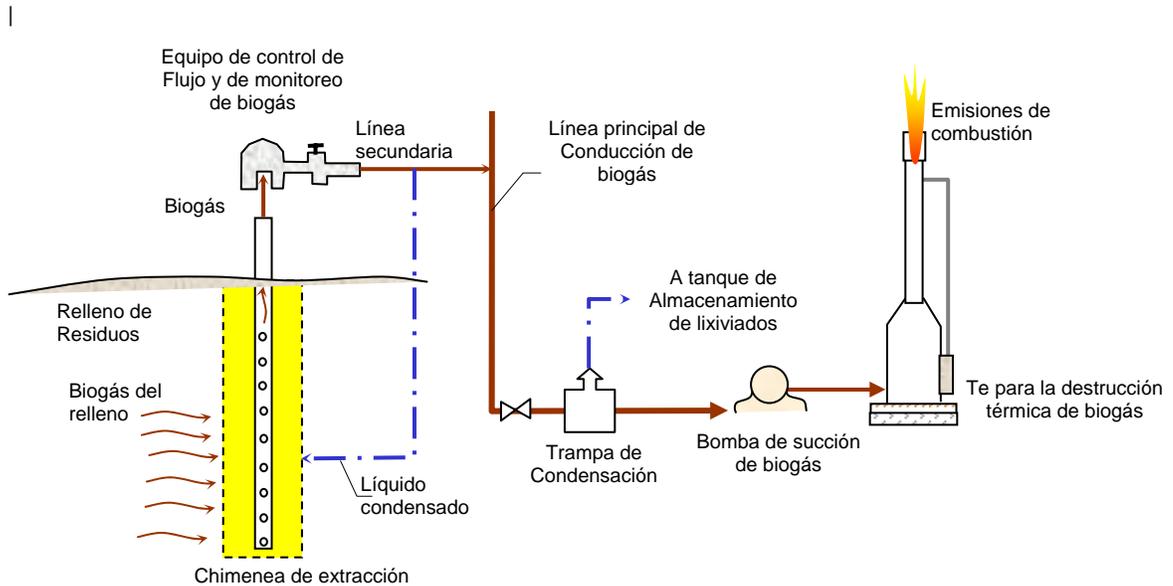


Fuente, Diseño, construcción y operación del sistema de extracción activa de biogás en la zona la mansión. ESCO de Latinoamérica Ltda. 1999.

⁷⁷ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

En la siguiente figura numero 7 se muestra un sistema de extracción activa de gas con todas las unidades:

Figura 7. Sistema de extracción activa de gas



Fuente, Diseño, construcción y operación del sistema de extracción activa de biogás en la zona la mansión. ESCO de Latinoamérica Ltda. 1999.

1.9 MONITOREO DE BIOGAS

La generación constante de biogás al interior del relleno sanitario encierra peligrosos potenciales que requieren de un adecuado control con el fin de evitar situaciones de riesgo durante toda la operación del relleno después del término de su vida útil, es indispensable mantener un monitoreo permanente de todas las dependencias internas y del perímetro externo, con el fin de detectar cualquier migración de biogás que pudiera producirse. La finalidad de esta medida preventiva es la detección anticipada de potenciales migraciones de gases

combustibles al exterior del relleno sanitario que puedan ser peligrosas a las personas y al medio ambiente. Paralelamente, en forma diaria se observan otros indicadores que pueden reflejar emanaciones no medibles pero si observables, tales como marchitamiento de árboles y siembras, malos olores, etc⁷⁸.

La metodología de monitoreo esta basado en la medida directa de la cantidad de gas de relleno capturado y destruido por la plataforma de quemado. Las principales variables que necesitan ser monitoreadas son la cantidad de residuos que se reciben en el relleno sanitario y la cantidad de metano quemado. Estas variables se monitorean como sigue:

Residuos recibidos: La cantidad de residuos recibidos en el relleno sanitario es monitoreado directamente empleando una balanza de pesaje.

Metano colectado y quemado: La cantidad de metano quemado será determinado por:

- La cantidad de gas de relleno colectado (m³, usando un flujometro y midiendo la temperatura y la presión).
- Porcentaje de gas de relleno que es metano (% , usando un analizador continuo)
- Horas de quemado (horas, empleando un cronómetro)

Esta metodología de monitoreo provee medidas directas y continuas de la cantidad actual de gas de relleno quemado y de metano contenido en el gas de relleno quemado empelando un flujometro y un analizador continuo de metano. El analizador continuo de metano es importante debido a que el contenido de metano

⁷⁸BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument>

del gas de relleno capturado varía por más del 20% durante un día debido a las condiciones de la red de trabajo de captura (dilución con aire en la fuente, fuga en las tuberías, etc.)⁷⁹.

⁷⁹ www.sergelsa.galeon.com/cvitae1631425.html

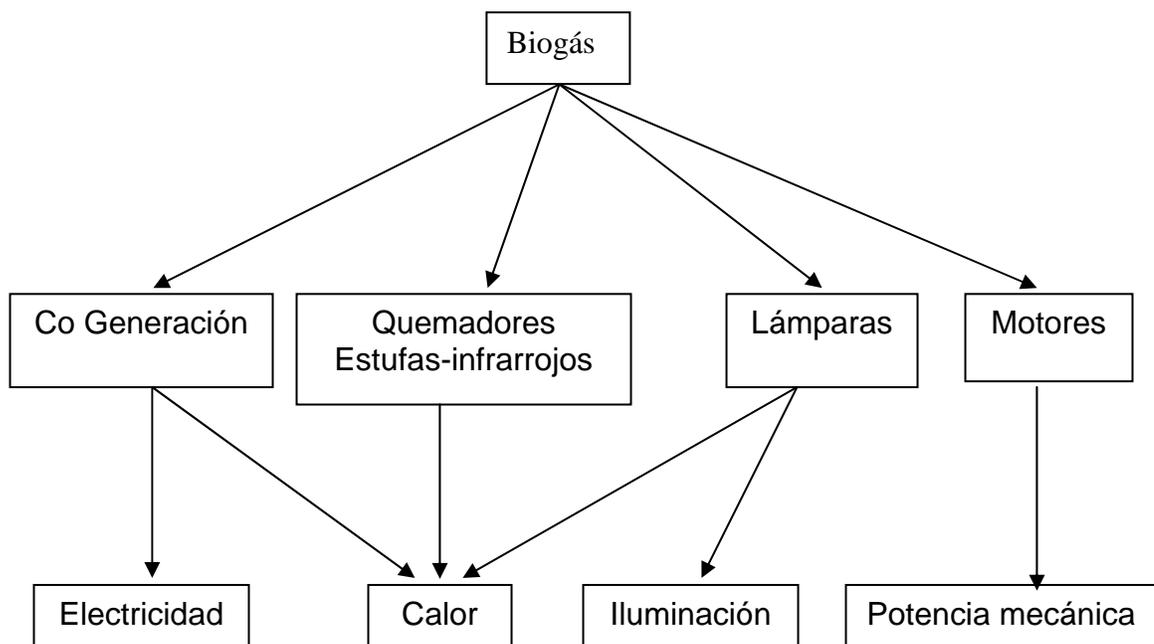
CAPITULO II

2. APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS EN PAISES SUBDESARROLLADOS.

El biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. El grafico que se encuentra a continuación resume las posibles aplicaciones.

En la siguiente figura numero 8 se ilustra las posibles aplicaciones que puede tener el biogás.

Figura 8. Aplicaciones del biogás.



Fuente, Diseño, construcción y operación del sistema de extracción activa de biogás en la zona la mansión. ESCO de Latinoamérica Ltda. 1999.

CHILE

En Chile, prácticamente la totalidad de la basura es recolectada y depositada en rellenos sanitarios, donde en general las emisiones de biogás y los líquidos percolados son sometidos a algún grado de control. Históricamente, se ha utilizado parte del biogás generado en algunos rellenos sanitarios con fines domiciliarios, inyectándolo a la red de gas de ciudad (Renca, Lo Errázuriz y La Feria en Santiago, y El Molle en Valparaíso), o con fines industriales (Lepanto en Santiago) el cual es conducido hasta el usuario final⁸⁰.

Chile es uno de los países latinoamericanos con mayor experiencia en el uso del biogás de rellenos sanitarios, donde fue aprovechado como fuente de energía domiciliar e industrial entre la década de los 70 y los 90. Parte del biogás generado en algunos rellenos sanitarios se utilizó con fines domiciliarios inyectándolo a la red de gas de ciudad (rellenos Cerros de Renca, Lo Errázuriz y La Feria en Santiago, y El Molle en Valparaíso), o con fines industriales conduciéndolo hasta el usuario final (relleno Lepanto en Santiago). En su momento máximo, en 1995, esta acción permitió un consumo de 339 teracalorías anuales. Sin embargo, con la llegada del gas natural a bajo precio y su rápida expansión, el interés por el biogás decayó, hasta que en el año 2001 el biogás sólo permitió el consumo de 27 teracalorías. (“Case Study of Landfill Gas to Energy Projects in Chile”, Bitran & Asociados - Recursos Naturales y Medio Ambiente, 2003)⁸¹.

⁸⁰MONREAL. Julio C. La recuperación de biogás de rellenos sanitarios en santiago de chile. 1999. www.resol.com.br/textos/Julio-biogas%20Chile.pdf

⁸¹SAITUA. Juan. Aspectos constructivos del sistema de captación del biogás en pozo la feria en santiago de chile. XIX congreso interamericano de ingeniería sanitaria. 1984. www.resol.com.br/textos/Julio-biogas%20Chile.pdf

ESTADOS UNIDOS

En EE.UU., las instalaciones que producen electricidad del biogás pueden calificar como “productores menores de energía” bajo la legislación del sector (Public Utilities Regulatory Policy Act), la que le exige a las generadoras la compra de energía a estos productores a una tarifa equivalente al costo evitado de generación. De manera que el productor, en este caso un relleno sanitario, tiene un poder de compra asegurado por ley. En EE.UU., actualmente existen en operación 333 proyectos de recuperación de energía de biogás, distribuidos en 229 proyectos con un total de 977 MW de capacidad de generación de electricidad y 104 proyectos con una potencia total de 45.807.500 MMBtu en uso directo⁸².

Adicionalmente se encuentran en construcción 40 proyectos más con una capacidad de generación de electricidad proyectada de 120 MW (28 proyectos) y 5.110.000 MMBtu (12 proyectos), y se espera que se concreten 184 proyectos en el futuro, con 89 generando electricidad (277 MW) y 95 usándolo directamente (30.112.500 MMBtu) (Atcha y Van Son, World Resources Institute, Sept. 2002). Algunos ejemplos en EE.UU. sobre conversión energética del biogás:

- **El proyecto Elk River** desarrolló una central de 525 kW que provee energía a 250 hogares en la ciudad de Elk River en Minnesota.

- **Green Knight Economics Development Project**, una asociación entre Waste Management Inc. (WMI) y Green Knight Economic Development Corporation, organización sin fines de lucro formada para promover el desarrollo económico del Condado de Northampton en Pennsylvania, trabajaron cooperativamente para desarrollar un proyecto de generación de sólo 10MW en un relleno sanitario de WMI para beneficio de la comunidad.

⁸² www.infoserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=168 - 12k

- **Waste Management, Inc.**, por su parte opera más de 30 centrales eléctricas a biogás en todo EE.UU., algunas de las cuales se encuentran operando desde mediados de los 80. Estas centrales produjeron cerca de 1.2 billones de kWh en el años 2000 usando biogás.

- **AMP-Ohio, Browning Ferris Gas Service, Inc. and Energy Developments, Ltd. (EDI)** se asociaron para desarrollar la producción de energía a base del biogás de cuatro rellenos sanitarios en Ohio, y lograron colocar el total de potencia de 28 MW en el mercado⁸³.

EUROPA

En Europa por su parte, habría 573 MW de potencia instalada operando y se espera que se amplíe en 700 MW en los próximos años (Bates and Haworth, 2001). Una desventaja del biogás como fuente de energía eléctrica es que el potencial de generación es muy variable⁸⁴.

MADRID

Una de las medidas más innovadoras del Plan Azul para la mejora de la calidad del aire de la comunidad de Madrid es la producción de electricidad a partir de los vertederos de Residuos Urbanos (RU). Con una moderna tecnología, el biogás generado por la materia orgánica en su proceso de descomposición, se transforma en energía renovable.

⁸³ COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

⁸⁴ www.ambientum.com/revistanueva/2006-04/aprovechamientobiogas.htm

Se trata de un proceso respetuoso con el medio ambiente que da una nueva utilidad a los residuos orgánicos generados por la actividad humana, sin duda la materia prima más barata de la que disponemos para producir energía.

El biogás producido por los cuatro vertederos de residuos sólidos urbanos gestionados por la comunidad de Madrid genera energía suficiente para abastecer el consumo de electricidad de más de 100.000 personas con un mayor impacto sobre el medio ambiente y la salud, como es el caso de los combustibles fósiles. Además, ésta permite evitar la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero, sobre todo metano, que suelen generarse en cualquier vertedero.

La comunidad de Madrid cuenta en la actualidad con cuatro centros donde se llevan a cabo todos estos procesos de obtención de biogás para su gestión y su posterior aprovechamiento energético.

La planta de Pinto y los vertederos de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de las ciudades de Alcalá de Henares, Mejorada del Campo y Colmenar Viejo producen 192.000 megavatios por hora a partir del biogás, una cantidad equivalente al consumo de 37.500 viviendas. Ignacio Ramos, capaz de abastecer a unas 115.000 personas, aproximadamente.

El consejero de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la comunidad de Madrid, Mariano Zabía, inauguró una de estas pequeñas «centrales eléctricas». Con la apertura de la planta de aprovechamiento energético de Colmenar Viejo, en la que se han invertido cuatro millones de euros, la comunidad de Madrid ya genera energía limpia en todos sus vertederos de residuos urbanos⁸⁵.

⁸⁵ RIVERA MORENO. Myriam. Madrid convierte la basura en energía. 2006
www.desarrollointeligente.org/pdf/la_razon/11_lr_biogas_09042006.pdf

MEXICO

Con el biogás generado en el relleno sanitario de la ciudad de Monterrey, se produce, por hora, energía eléctrica equivalente al consumo de 7 mil 400 viviendas con 10 focos de 100 watts cada una.

La primera planta mexicana generadora de energía eléctrica a partir de la utilización del biogás emitido por la basura orgánica, produce actualmente 7.4 megawatts que se aprovechan para alumbrado público, bombeo de agua potable y alimentación eléctrica del metro de Monterrey, Nuevo León, ciudad en donde la secretaría de desarrollo social, con apoyo del Banco mundial, implementó el modelo Mexicano del biogás, una opción tecnológica y estratégica que, además de evitar emisiones tóxicas, abre el potencial para el “manejo limpio” de los casi 30 millones de toneladas de basura producidos anualmente en las zonas urbanas del país.

El aprovechamiento del biogás permite sustituir la quema de combustibles fósiles, para generar energía eléctrica, con ello se reduce la emisión de gases contaminantes que provocan el efecto invernadero, responsable del sobrecalentamiento del planeta. Mediante el proceso de captura y procesamiento del biogás, se ha logrado reducir la emisión de contaminantes lanzados a la atmósfera en un monto que equivale a un millón de toneladas de bióxido de carbono.

Debido a los logros operacionales de la planta en la zona metropolitana de Monterrey, actualmente la sedesol apoya estudios de factibilidad en 11 ciudades del país para la replica del proyecto del biogás. Algunas de las ciudades y municipios con los que ya se trabaja son: Juárez, León, Aguascalientes, Chihuahua, Querétaro, Tlalnepantla, Cuautitlán Izcalli y Vallarta, sitios en donde se

concentra alrededor del 10% del total de la basura que generan las zonas urbanas.

El principal propósito del modelo para el uso y aprovechamiento de biogás es proveer a propietarios y operadores de rellenos sanitarios, una herramienta para evaluar la factibilidad y beneficios de recuperar y usar el biogás que en ellos se genera. Los municipios de León y Guadalajara están en proceso de negociación con empresas para la instalación de centrales de generación de energía a partir de la utilización del biogás⁸⁶.

⁸⁶ www.infoaserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=168 - 12k

CONCLUSIONES

La captura de gas de relleno sanitario y la generación de energía a partir de él crea varios beneficios ambientales, además de esto se pueden constituir en una forma de desarrollo industrial, agroindustrial, agrícola.

Teniendo en cuenta que el metano es un gas de efecto invernadero muy potente, contribuyente clave para el cambio global del clima, la reducción de emisiones de este gas en los rellenos sanitarios municipales se convierte en una de las mejores formas de lograr un impacto benéfico a corto plazo para la mitigación del cambio climático.

En un relleno sanitario el venteo de los gases producen efectos que contaminan al medio ambiente, además de esto perjudican a la salud de los habitantes que se encuentran ubicados cerca de este, por lo tanto es necesario controlar de una forma adecuada y segura la emisiones de estos gases.

Los rellenos sanitarios, tienen generalmente una ubicación periurbana que afectan tanto a los sectores urbanos, para los que son una necesidad sanitaria, como a los rurales. Los afectan en ambos sentidos, positivo y negativo, ya que si no son adecuadamente controlados contaminan al medio ambiente donde se encuentran.

En algunos países la utilización de biogás se ha convertido en una fuente de desarrollo industrial y económico, contribuyendo de esta manera al mejoramiento de la calidad de vida de muchas personas.

BIBLIOGRAFIA

BRITAN E ASOCIADOS. Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico. Septiembre 2006.
<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=927733>

COLMENARES MAYANGA. Wagner; SANTOS NONILLA. Krin. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final.
http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CALDAS. Glosario ambiental.
<http://www.corpocaldas.gov.co/secciones/infogeneral.php?ele=152>

MAGALI DE LUCA. Sofía. Cada vez mas basura. Argentina. 2004
www.chicos.net/chicosnet/html/corresponsales/ecologia31.htm - 46k

MONREAL. Julio C. La recuperación de biogás de rellenos sanitarios en santiago de chile. 1999. www.resol.com.br/textos/Julio-biogas%20Chile.pdf

M. C. Bologna; O. R. Simona. Simulación del comportamiento de la biodegradación de residuos sólidos urbanos compactados.
http://dpi.eq.ufrj.br/ciaiq_22/CD/formCrCongreso/papers/10a/10a_159.pdf

PÉREZ ROSAS. José. CHÁVEZ REYES Pablo y CEBADA ALVA Bernardino. Evaluación técnico-económica de dos alternativas de aprovechamiento de biogás en un relleno sanitario. México, D.F. 2002.

PINEDA MONTES, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos urbanos. Santafé de Bogota. ACODAL.1998.

Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Capítulo F, sistema de aseo urbano. www.minambiente.gov.co

RIVERA DE LA TORRE. Gabriela. Manejo y control de biogás generado en rellenos sanitarios. <http://www.femisca.org/publicaciones/Xcongreso/XCNIS191.pdf>

RIVERA MORENO. Myriam. Madrid convierte la basura en energía. Madrid 2006. www.desarrollointeligente.org/pdf/la_razon/11_lr_biogas_09042006.pdf

SAITUA. Juan. Aspectos constructivos del sistema de captación del biogás en pozo la feria en Santiago de Chile. XIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria. 1984. www.resol.com.br/textos/Julio-biogas%20Chile.pdf

SCHMIDT. Félix. Valoración del biogás en un relleno sanitario Seminario Internacional de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. <http://www.resol.com.br/textos/valoracion%20del%20biogas.pdf>

www.ambientum.com/revistanueva/2006-04/aprovechamientobiogas.htm

www.infoasercia.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=168 - 12k

www.sergelsa.galeon.com/cvitae1631425.html

<http://es.wikipedia.org/wiki/Amon%C3%ADaco>

http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono

http://es.wikipedia.org/wiki/Mon%C3%B3xido_de_carbono

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3geno>

http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_sulf%C3%BArico

<http://es.wikipedia.org/wiki/Metano>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Nitr%C3%B3geno>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Ox%C3%ADgeno>