

PROGRAMA DE PRUEBAS DE CAMPO PARA LA UTILIZACIÓN DE BIOGAS DEL RELLENO SANITARIO PRADOS DE LA MONTAÑA

Rivera De La Torre Gabriela, Sarmiento Bleicher Conrado

**DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS URBANOS
RIO CHURUBUSCO NO. 1155 COL. ZAPATA VELA C.P. 08040**

El problema del manejo y disposición final de los residuos sólidos en la ciudad de México, se ha incrementado en los últimos años. El agotamiento de los sitios destinados para la disposición final ocasionado por el acelerado proceso de urbanización e industrialización constituyen una fuerte preocupación para los habitantes de la ciudad. El relleno sanitario es la solución adoptada por la ciudad de México para tratar los residuos urbanos sin causar daño al medio ambiente; pero también tenemos que considerar los efectos secundarios que el empleo de esta técnica trae consigo.

Después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario, la materia orgánica sufre un proceso de biodegradación, produciendo una mezcla de gases peligrosos conocida como biogas. El biogas es una mezcla potencialmente explosiva de gases asfixiantes y tóxicos. Las consecuencias ambientales provocadas por la migración del biogas pueden ser sustanciales, provocando incluso daños a las personas, vegetación y propiedades aledañas a la zona del relleno sanitario.

El metano, es el constituyente dominante del biogas, es flamable y forma mezclas explosivas en el aire en concentraciones de 5 al 15%. Incidentes de incendios y explosiones en rellenos sanitarios indican la importancia de establecer procedimientos de control planeados apropiadamente basados en monitoreos comprensibles, eficientes y exactos de la producción del biogas y sus migraciones.

Es importante entender los procesos de descomposición de los residuos, así como también los factores que los afectan; esto nos ayudará a determinar el potencial del biogas generado. En este trabajo se discutirán aspectos relacionados con la generación del biogas, pruebas de campo para evaluar el potencial de utilización y los sistemas de control, captación y conducción empleados para manejar el biogas de una forma más adecuada.

ANTECEDENTES

El relleno sanitario Prados de la Montaña está localizado en Santa Fe, Ciudad de México, entre la Avenida Coral y la Avenida Tamaulipas en la Delegación Cuajimalpa. La propiedad del relleno sanitario pertenece a Servicios Metropolitanos, S.A. de C.V. (Servimet), pero fue operado y clausurado por las Áreas Técnicas y Operativas de la Dirección General de Servicios Urbanos, D.D.F.

El terreno del relleno sanitario cuenta con de 24.9 hectáreas (Ha); de las cuales 22.6 fueron usadas para disponer residuos sólidos. Este sitio operó desde marzo de 1987 hasta julio de 1994. Los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario principalmente fueron del tipo municipal. En este relleno sanitario se realizó una pepena controlada. En Agosto de 1994, el sitio fue cubierto con una capa provisional de tepetate y posteriormente una cubierta final multicapas. Se estima que 5,600,000 toneladas de residuos fueron depositados en el relleno sanitario durante sus 7 años de operación (Procesa 1994).

CONDICIONES DEL SITIO

Las actividades de construcción del relleno sanitario iniciaron con la excavación de arena y los depósitos de grava en el socavón. El relleno sanitario descansa sobre una serie de depósitos volcánico-lávicos de toba volcánica areno-arcillosa. Los estudios regionales estimaron que las aguas subterráneas se encuentran bajo el relleno a una profundidad de 130 metros bajo el nivel de superficie (aproximadamente 85 a 90 metros, bajo la base del relleno sanitario).

El área del relleno sanitario se extiende aproximadamente 650 m. en la dirección norte-sur y aproximadamente 400 m. en la dirección este-oeste. El nivel final del relleno sanitario es aproximadamente 2,650 metros sobre el nivel del mar. La comparación de la topografía antes de que se ubicara el relleno sanitario y la actual, estima que el relleno sanitario tiene espesores del orden de 14 a 44 m.

El relleno sanitario fue trabajado y operado usando dos macroceldas (socavones), uno a cada lado con respecto al camino principal de acceso en la dirección este-oeste. Cerca de 60 por ciento del total de

los residuos se colocaron en el socavón norte (socavón 2), y 40 por ciento se colocaron en el socavón del sur, (socavón 1) (ABC, 1993).

Antes de iniciar la operación en la parte noroeste del relleno sanitario, se colocó un sistema de revestimiento impermeable a lo largo del muro de contención del sitio que se consideró necesario para controlar la migración de biogas a través de las formaciones adyacentes del suelo. El sistema de revestimiento, consistió de una base de arcilla compactada y un revestimiento sintético (ABC, Febrero, 1993). El revestimiento de arcilla compactada se colocó a fines de 1990 y el revestimiento de polietileno (geomembrana) en 1992.

GENERACIÓN DEL BIOGAS.

La generación del biogas es primariamente una función de la descomposición de los residuos, regida por variables como el contenido de la humedad interna, temperatura, etc. En general, el relleno sanitario tiene un alto contenido orgánico y una humedad suficiente para crear unas condiciones anaeróbicas que dan como resultado la generación de grandes cantidades de gas metano; la duración de la producción de biogas varía según la distribución de los componentes orgánicos, la disponibilidad de nutrientes, el contenido de humedad de los residuos, el paso de la humedad por el relleno y el grado de compactación. En condiciones normales, la velocidad de descomposición, medida por la producción de biogas, llega a su cima dentro de los primeros dos años y después baja lentamente, continuando en muchos casos durante periodos de hasta 15 años ó más.

La producción del biogas de un relleno sanitario durante periodos de tiempo amplios es de gran importancia respecto a la estrategia de gestión que se va a adoptar para el diseño del sistema de control de biogas.

MIGRACIÓN DEL BIOGAS.

En condiciones normales, los gases producidos en el relleno sanitario se emiten a la atmósfera mediante difusión molecular y por gradientes de presión y temperatura desarrollados debido a las variaciones en las biodegradaciones de los residuos del relleno sanitario. En el caso del relleno sanitario activo, el biogas primeramente migra debido a los gradientes de presión, es decir la presión interna normalmente es mayor que la presión atmosférica y el gas generalmente se mueve desde el relleno sanitario donde es generado hacia áreas de menor presión mediante difusión y flujo convectivo (conducido por presión) a lo largo de trayectorias de poca resistencia. Otros factores que influyen en el movimiento del biogas incluyen la absorción de gases en componentes líquidos o sólidos y la generación ó consumo de un componente gaseoso a través de reacciones químicas o de la actividad biótica.

El alcance hasta el cual el biogas migra lateralmente en vez de verticalmente depende de donde estén localizadas las trayectorias de poca resistencia. La cantidad de migración en la dirección lateral depende en parte de la permeabilidad del suelo adyacente del relleno sanitario.

El suelo perimetral del relleno sanitario Prados de la Montaña consiste de grava, arenas, sedimentos y muy poca arcilla. Esto sugiere que los suelos que rodean el relleno sanitario son relativamente permeables y no se esperaría que limiten la migración lateral del gas.

Si se escapa el metano de una forma incontrolada, puede acumularse (porque su peso específico es menor que el del aire) en estructuras cerradas, sótanos, instalaciones de servicio subterráneas, instalaciones próximas o en otros lugares cerrados, próximos o dentro y fuera del sitio. Una explosión potencial existe cuando el gas se acumula en espacios cerrados en concentraciones explosivas de (5 a 15 % de metano por volumen) y si se presenta una fuente de ignición.

SISTEMAS DE CONTROL DE BIOGAS

Se emplean los sistemas de control de biogas en el relleno sanitario para prevenir el movimiento indeseable de los gases hacia la atmósfera, o el movimiento lateral o vertical a través del suelo circundante; así como para minimizar la salida de emisiones olorosas y para permitir la recuperación de energía a partir del metano para un proyecto a futuro. Los sistemas de control se pueden clasificar como pasivos y activos.

En los sistemas pasivos de control de biogas se utiliza un gradiente negativo de presión en forma de vacío inducido para controlar el flujo del biogas. Se puede lograr el control pasivo de los gases, 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 deseada, por ejemplo los gaviones. Es importante mencionar que cuando la producción de los gases es limitada los controles pasivos no son muy eficaces, porque la difusión molecular será el mecanismo de transporte predominante.

En los primeros años de operación del relleno sanitario se empleo este método pasivo para controlar el biogas generado, basándose en el hecho de reducir la migración lateral de los gases disminuyendo la presión del gas dentro del interior del relleno sanitario. Para este propósito se instalaron pozos que se hasta la base del relleno en la masa de residuos sólidos (ver diseño anexo). Estos pozos fueron construidos mediante la instalación, y subsecuentemente la extensión, de tubería ranurada de 4 pulgadas de diámetro al nivel del suelo hacia arriba conforme se construía el relleno sanitario. La tubería fue protegida de las actividades propias del relleno sanitario con una barrera de gaviones construidos alrededor de la misma. A medida que aumentaba la profundidad del relleno sanitario, fueron añadidas las extensiones a los pozos, y el sistema de protección con gaviones fue prolongado verticalmente.

A estos venteos pasivos se les colocaron quemadores (pebeteros), sin embargo hay que considerar, que quizá no logran una destrucción eficaz de los olores y de los COV (compuestos orgánicos volátiles), no alcanzando las exigencias para el control de la calidad del aire de las áreas urbanas, y, por lo tanto, su utilización se consideró provisional.

Debido a que el metano en el gas que estaba escapando tenía un potencial de riesgo, se implementaron los pozos de biogas para funcionar también bajo un sistema activo. Se conectaron varios pozos y se equiparon con un quemador de gas. Con una extracción correcta, el metano no es un problema (excepto por el hecho de que es un gas que influye en el efecto invernadero).

Sabemos que el método más común para tratar el biogas, es la destrucción térmica, es decir, se queman el metano y cualquier otro gas (incluyendo COV) en presencia de oxígeno (contenido en el aire), produciéndose bióxido de carbono (CO₂), y en menor proporción bióxido de azufre (SO₂) óxidos de nitrógeno y otros gases relacionados. La destrucción térmica del biogas en el relleno sanitario Prados de la Montaña se lleva a cabo en una instalación de combustión especialmente diseñada. Por las inquietudes existentes acerca de la contaminación del aire, esta instalación se diseño para cumplir rigurosas especificaciones de operación que aseguran la destrucción total de COV y de otros compuestos similares que pudieran estar presentes en el biogas. Este sistema de combustión del biogas proporciona una temperatura de incineración mínima de 800 °C, se puede encender el quemador manualmente o con una llama piloto continua, cuenta además con diversos controles y una instrumentación adecuada en la estación de combustión.

POZOS DE EXTRACCION DE BIOGAS

El diseño del pozo de biogas consiste en una tubería de PVC hidráulico de 4' y 6' de diámetro, colocada en una perforación de 60 cm. como mínimo. De la base del relleno hasta unos cuantos metros por debajo de la cubierta final, el PVC se perfora (aproximadamente un 60% del total de tubería de PVC) y se coloca sobre un relleno de grava. El resto del PVC no se perfora y se coloca en un relleno de bentonita y arcilla. Se espacian los pozos para que sus zonas de influencia se traslapen. A diferencia de los pozos para agua, la zona de influencia para los pozos verticales es esencialmente un cilindro extendido en dirección perpendicular al desarrollo del pozo de extracción.

Es importante mencionar que el oxígeno (O₂) dificulta el proceso de degradación anaerobia; y cantidades considerables de oxígeno pueden generar incendios subterráneos, sobre todo debido a que en esta etapa anaerobia de generación de biogas se presentan incrementos considerables de temperatura. Por esta razón se debe tener mucho cuidado para evitar una sobrecarga en el sistema. Tasas de extracción excesivas pueden causar que el aire procedente del suelo circundante se infiltre en la masa de residuos. Para prevenir la entrada de aire, el flujo de biogas para cada pozo debe controlarse cuidadosamente. Para esta finalidad se equiparon los pozos con cabezales con tomas para el muestreo del gas y válvulas para controlar el flujo.

Normalmente los pozos de biogas se diseñan para penetrar hasta el 75 por 100 de la profundidad de los residuos, ya que su zona de influencia se extenderá hasta el fondo del relleno sanitario.

En el caso específico del relleno sanitario Prados de la Montaña los pozos instalados en el sitio tienen una profundidad mínima de 9 metros y una profundidad máxima de 35 metros, y como profundidad

promedio 25 metros, Se colocaron con un espaciamiento promedio de 40m, considerando un radio de influencia de 20 m. y una densidad por pozo de 2,000 m².

CONTROL DE BIOGAS EN EL RELLENO SANITARIO PRADOS DE LA MONTAÑA

El objetivo del sistema de control de biogas es extraer el biogas a lo largo de toda la propiedad para limitar la migración de biogas y las emisiones de olores. De tal forma que el biogas extraído pueda usarse en futuro como una fuente de combustible para consumo directo ó para generar electricidad. En el relleno sanitario Prados de la Montaña se contruyó por funcionalidad un sistema perimetral y un sistema interior dividido en dos secciones para el control del biogas. Ambas redes perimetral e interior llegan a un mismo punto donde se encuentran los quemadores.

La red de tuberías que conforman el sistema perimetral e interior inicialmente se habían considerado subterráneas, pero finalmente se optó por que fueran aéreas, es decir se plantearon para construirse sobre el nivel de la superficie final, con el objetivo primordial de proteger el sello final que conforma la cubierta multicapas del relleno sanitario y para soportar el asentamiento diferencial que se dio en el sitio de hasta 1 metro por mes.

El condensado que se forma cuando se extrae el biogas también es un elemento importante que se consideró en el sistema para el control del biogas. El condensado se forma cuando se enfría el biogas mientras se transporta en la línea de conducción camino del compresor. Las tuberías de conducción de biogas se diseñaron con una pendiente mínima de 3% y aéreas, con soportes que permiten el ajuste de las mismas para compensar el asentamiento diferencial y permitir que el condensado generado en la red de tuberías retorne hacia el relleno sanitario mediante las trampas de condensado, y por consiguiente no se requiere un tratamiento adicional.. Como las líneas de conducción se construyeron en secciones que se inclinan hacia arriba y hacia abajo a través de toda la extensión del relleno sanitario, se instalaron estas trampas para el condensado en los puntos bajos de la línea y en algunas conexiones de tubería laterales que conectan a los pozos de extracción de biogas con la línea de conducción.

También se contemplaron para este sistema de control de biogas trampas para condensado, las cuales permiten que este drene de las tuberías donde se acumula debido a los cambios de presión y temperatura del biogas.

SISTEMA PERIMETRAL DE CONTROL DE BIOGAS

Normalmente un sistema de control de biogas perimetral se utiliza cuando la distancia entre el relleno sanitario y la urbanización más cercana es relativamente pequeña, se utiliza para controlar la migración fuera del sitio del biogas del relleno sanitario en el límite y superficie del mismo. Se trata de una serie de pozos verticales instalados dentro del relleno sanitario a lo largo de su límite. Cada pozo se conecta a una línea de conducción común que después está conectada a un compresor centrífugo, que produce vacío (presión negativa) en la línea y en los pozos individuales. Cuando se aplica el vacío, se crea una zona o radio de influencia que se extiende a la masa de residuos sólidos alrededor de cada pozo y dentro del cual el biogas generado es aspirado hacia el pozo. Normalmente se ventila o se quema el biogas extraído del relleno sanitario, de una forma controlada en la estación del compresor y quemador. También se puede utilizar el gas extraído como fuente de energía si la cantidad que se puede captar y la calidad son suficientes.

El sistema perimetral de control de biogas del relleno sanitario Prados de la Montaña está compuesto de 45 pozos conectados mediante una red de tuberías aéreas. Las ubicaciones de los pozos perimetrales fueron seleccionadas para proporcionar control lateral de la migración de biogas en los límites de la propiedad. Los pozos están ubicados equidistantes a 40 metros y situados aproximadamente a 20 metros de los límites del relleno sanitario. La red perimetral mide 1,643 metros, incluyendo las conexiones flexibles, válvulas, adaptadores y otras conexiones. El sistema perimetral cuenta con 21 trampas para condensado.

SISTEMA INTERIOR DE CONTROL DE BIOGAS

El sistema interior de control de biogas incluye un total de 66 pozos de extracción conectados mediante un sistema de tuberías arreglados en una red norte y otra red sur. Las ubicaciones de los pozos de extracción interiores se seleccionaron basándose en un espaciamiento de 40 hasta 60 metros. Todos los cabezales para los pozos, conexiones laterales y líneas de conducción fueron diseñados para instalarlos sobre la superficie de la cubierta final del relleno sanitario.

La red norte y sur del sistema interior fueron diseñadas para operar como unidades independientes. No obstante, mediante el arreglo de las válvulas en las líneas de conducción, las redes pueden operar como un sistema completo. La red de tuberías del sistema interior mide 2,483 metros, incluyendo las conexiones flexibles, válvulas, adaptadores y otras conexiones. El sistema interior cuenta con 24 trampas para condensado.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE CONTROL DE BIOGAS

Se instalaron cabezales en cada pozo de extracción de biogas. Cada cabezal cuenta con una válvula de control para el flujo y puertos de muestreo para medir la presión y el vacío, flujo y composición del gas. El cabezal se conectó con una manguera flexible a una tubería de 4" de diámetro, la cual se conectó a la línea de conducción principal.

La red de tuberías se construyó de PVC cédula 80 de diámetros de 6",8" y 10 ", conectores flexibles, válvulas, adaptadores y otras conexiones, las cuales fueron diseñadas para conducir el biogas a las estaciones de incineración.

Los soportes para la tubería se instalaron a 30 centímetros de cada conexión horizontal de tubería y espaciados a 3 metros del centro. Se instalaron conectores flexibles para permitir que la tubería resistiera los efectos de la expansión y contracción y el asentamiento diferencial del relleno sanitario. Los conectores flexibles se instalaron con espaciamientos máximos de 100 metros en la red de tuberías en las conexiones "T" y en las trampas para condensado.

El diseño de la tubería fué dimensionado adecuadamente para permitir que la caída de presión en una sección de tubería de 30 metros fuera menor a 1 pulg. de agua con un flujo de 1.5 metros cúbicos por minuto por pozo de extracción de biogas.

Es importante mencionar que los altos niveles de lixiviado representan problemas potenciales para la extracción y control de biogas; y la percolación de lixiviado bajo el relleno sanitario puede degradar la calidad de las aguas subterráneas. Dado los altos niveles de lixiviado presentes en el relleno sanitario antes de operar el sistema de extracción de biogas se procedió al manejo y control del lixiviado.

PRUEBAS DE CAMPO PARA LA UTILIZACION DEL BIOGAS.

El Proyecto para la Innovación Tecnológica de la Energía (ETIP) bajo el auspicio del Centro para el ambiente del USAID estuvo colaborando con el Departamento del Distrito Federal (DDF), en la realización de un estudio de factibilidad para la captación de metano en el relleno sanitario Prados de la Montaña. Como parte de la colaboración con el DDF se desarrolló un programa para pruebas de campo, el propósito de dicho programa de la pruebas de campo era proporcionar la información necesaria para evaluar la factibilidad de la recuperación del biogas del relleno sanitario en el sitio, así como desarrollar el criterio de diseño para la recuperación del biogas del relleno sanitario y sistemas de generación de energía. El programa de pruebas de campo empezó en abril de 1996.

Las pruebas de campo incluyeron un programa de perforación para instalar tres pozos de pruebas, con sus correspondientes pozos de observación y monitoreo, recolección de muestras de residuos, y una "prueba de bombeo" para estimar el radio de influencia del pozo y los flujos reales de generación de biogas del sitio.

El programa de prueba, consistió de dos etapas: la instalación del sistema y las fases de prueba del sistema; y se programó para iniciar en Abril de 1996. Cada una de las etapas se describe con más detalle a continuación.

Fase I - Instalación del sistema de prueba.

Se ubicaron pozos de extracción del biogas en áreas representativas del sitio. Los pozos se seleccionaron de tal forma que se ubicaran representativamente en la zona más profunda, en la profundidad media y en las áreas poco profundas del relleno sanitario. Se instalaron cabezales con puertos para medición de flujo, presión y temperatura en cada uno de los pozos de pruebas de extracción.

Posteriormente se determinaron las ubicaciones de los pozos de observación para el monitoreo de los radios de influencia. Estos pozos de observación se dispusieron radialmente (3 pozos en tres direcciones a diferentes profundidades), a modo de detectar la variación de la presión negativa.

Después de la instalación del pozo de prueba, se monitorearon los niveles de lixiviado en cada pozo.

Fase II Pruebas.

Esta fase se planteó en cuatro etapas: prueba estática, prueba dinámica, prueba de estado estable y prueba postactiva. Se planteó obtener datos como presión subterránea, el flujo del gas, y las mediciones de metano, dióxido de carbono, oxígeno, y gas balance con un equipo portátil y automático. A continuación se describen las pruebas planteadas:

- Prueba estática (duración 2 días - con lecturas tres veces al día). En la prueba estática, la información de referencia es recabada bajo condiciones “estáticas”, es decir, sin condiciones de extracción para evaluar el estado antes de la prueba en el sitio. Inmediatamente previo a la iniciación de la prueba estática, se deben medir los niveles del lixiviado en cada uno de los pozos de prueba, para determinar si los pozos están saturados.

Nota: Al menos 2 semanas previas a la prueba estática todos los pozos de prueba y pozos de observación, así como los pozos, venteos, y otras estructuras que puedan actuar como puntos potenciales de intrusión de aire (incluyendo pozos de lixiviado o cárcamos) dentro de un radio de 200 metros alrededor del pozo de prueba, deben cerrarse o sellarse.

Durante el tiempo en que se estén sellando los pozos, venteos, etc., se debe inspeccionar periódicamente la cubierta del relleno sanitario para buscar evidencias de presiones internas excesivas las cuales pueden desplazar el sistema de cubierta final. Si se observa cualquier evidencia de desplazamiento de la cubierta o la presión interna excede de 30 pulgadas (de agua) se debe iniciar la prueba o descubrir los venteos pasivos.

Durante esta etapa se obtiene la siguiente información:

- ⇒ Presión barométrica, temperatura ambiente, y observaciones del clima en general.
- ⇒ Presión subterránea en todos los pozos de prueba y en los pozos de observación.
- ⇒ Temperatura del gas en todos los pozos de pruebas de extracción.
- ⇒ Concentraciones de metano, dióxido de carbono, oxígeno y gas balance en todos los pozos de prueba y en los pozos de observación.

- Prueba dinámica (duración estimada de 14 a 21 días - con lecturas tres veces al día). Una vez finalizada la prueba estática, inicia la extracción o prueba “dinámica”. La etapa de la prueba dinámica es la fase crítica, donde el flujo del gas en cada pozo de prueba se incrementa gradualmente hasta que se alcanza un flujo “máximo estable” para el pozo. El flujo máximo estable para un pozo es la máxima extracción de biogas que puede ser sostenida sin introducir aire al relleno sanitario (o sea, sin llegar a sobre-extracción, lo cual se diagnostica si se presenta oxígeno atmosférico en el gas extraído).

La prueba dinámica inicia aplicando a cada pozo de prueba vacío suficiente para alcanzar $\frac{1}{2}$ del flujo máximo esperado para el pozo. El flujo máximo esperado es derivado de la simulación del sitio antes de iniciar las pruebas.

Después de que se establece el flujo inicial, los flujos de cada uno de los pozos de prueba se incrementan (aproximadamente en intervalos de 2 días) hasta que se haya alcanzado el flujo de “estado estable”. Los ajustes para el incremento del flujo en intervalos de 2- días debe ser entre 10 y 20 por ciento de la diferencia entre el flujo inicial y el máximo flujo esperado para cada pozo. Los indicadores de que se ha alcanzado el estado estable ó flujo “máximo estable” son:

- ⇒ Observancia de vacío o “aire” en los pozos de observación de poca profundidad adyacentes a los pozos de prueba.
- ⇒ Un rápido incremento del “aire” en el mismo pozo de prueba.

Ya sea que uno u otro o ambos indicadores están presentes, se debe disminuir el flujo del pozo de prueba a un nivel donde éstos indicadores justamente desaparezcan (p.e., el flujo máximo estable). Durante esta etapa se obtiene la siguiente información:

- ⇒ Presión barométrica, temperatura ambiente, y observaciones del clima en general.
- ⇒ Presión subterránea en todos los pozos de prueba y en los pozos de observación.

- ⇒ Flujo del gas y temperatura de todos los pozos de prueba, y en la entrada del soplador si más de uno de los pozos es conectado al soplador.
- ⇒ Concentraciones de metano, dióxido de carbono, oxígeno, y gas balance en todos los pozos de prueba y en los pozos de observación, y en la entrada del soplador si más de uno de los pozos es conectado al soplador.
- Prueba de “estado estable” (duración de +5 días - con lecturas de tres veces al día). Durante la prueba de estado estable, confirmamos que el flujo de de estado estable es constante, dejando este flujo durante varios días. Durante esta etapa se obtiene la siguiente información:
 - ⇒ Presión barométrica, temperatura ambiente, y observaciones del clima en general.
 - ⇒ Presión subterránea en todos los pozos de prueba y en los pozos de observación.
 - ⇒ Flujo del gas y temperatura de todos los pozos de prueba, y en la entrada del soplador si más de uno de los pozos es conectado al soplador.
 - ⇒ Concentraciones de metano, dióxido de carbono, oxígeno, y gas balance en todos los pozos de prueba y en los pozos de observación; y en la entrada del soplador si más de uno de los pozos es conectado al soplador.
 - ⇒ Recolección de una muestra del biogas para el análisis del gas como combustible de cada uno de los pozos de pruebas de extracción (en el Día 4). A las muestras se les debe analizar su contenido de Btu, ácido sulfhídrico, y componentes orgánicos totales no-metanogénicos.

Durante ambas etapas de la prueba de extracción, el personal de campo debe inspeccionar diariamente el área superficial inmediata alrededor de los pozos de extracción para buscar evidencias de asentamientos u observancia de fugas de aire. Los asentamientos visibles deben ser medidos, y asentados en el formato de información diaria para el pozo; y reparados con material limpio y compactado tan pronto como sea posible. Si la concentración de oxígeno y nitrógeno se incrementa de repente en un pozo de prueba y las concentraciones relativas son similares al aire, probablemente es debido a una fuga de aire durante el muestreo, o la intrusión de aire a través del pozo.

- Prueba post-activa (2 días - con lecturas siete veces al día) En la prueba post-activa, la información es recopilada en intervalos de 2 horas para observar qué tan rápido el relleno sanitario se recupera del procedimiento de prueba (que tan rápido regresa a las condiciones de pre-extracción). Durante ésta etapa se obtiene la siguiente información:
 - ⇒ Presión barométrica, temperatura ambiente, y observaciones del clima en general.
 - ⇒ Presión subterránea.
- Después del último conjunto de lecturas, se deben medir los niveles de lixiviado en cada uno de los pozos de prueba.
- ⇒ El GEM-500 TM, o equivalente será utilizado para medir las concentraciones de metano, dióxido de carbono, y gas balance, presiones, y flujo. El instrumento debe ser calibrado previo a su uso en campo, apropiadamente. Una placa de orificio, (u otro dispositivo) debe ser instalado en la tubería de entrada a cada soplador para medir el flujo, si más de uno de los pozos es conectado al soplador.

De la información obtenida en estas pruebas se podrá inferir con un satisfactorio grado de aproximación, la masa de residuos sobre la que un pozo ejerce su influencia en cuanto a extracción de biogas y también estimar con ello el volumen total esperado de biogas a producirse por el relleno en su conjunto. En este punto cabe destacar que se presenta una alta interrelación entre producción de biogas y presencia de lixiviados en el relleno. Estos según se detectó recientemente saturan un variable pero importante espesor de los residuos (en algunos puntos hasta un 85% del espesor) y forman una barrera hidráulica para la tubería ranurada de los pozos de extracción de biogas. Es por ello que actualmente se hacen algunas consideraciones en cuanto a la capacidad de producción de biogas y la capacidad real de captación del mismo, de lo cual depende básicamente el dimensionamiento de los equipos para disposición o aprovechamiento de su poder energético. Otro aspecto importante radica en que dado que los lixiviados serán extraídos paulatinamente para su tratamiento diluyéndose en aguas residuales municipales en una planta cercana (por un periodo mínimo de diez años), al paso del tiempo se aumentará la eficiencia de captación aunque de manera paralela al decaimiento en el potencial de producción por el progresivo agotamiento del sustrato.

COMENTARIOS

Los procesos cinéticos bacterianos responsables de la generación de biogas en un relleno sanitario están asociados a muchos fenómenos físico, hidráulicos y químicos caracterizados por las particularidades del sitio. El caso de Prados de la Montaña es muy significativo pues se han debido identificar muchos factores y comportamiento no previstos y de los cuales no existían antecedentes con suficiente similitud. En este punto se han logrado importantes avances de los que emana un diseño racional y fundamentado de una red de captación y conducción de biogas diseñada para cumplir con eficiencia y seguridad su función y servir de base a futuros desarrollos tecnológicos en el área de los residuos sólidos. El siguiente planteamiento que se tiene para cubrir de modo integral el manejo del biogas es su disposición final. Se presentan dos vertientes principales: la combustión eficiente del metano mediante quemadores y/o el aprovechamiento económico de su poder calorífico en la generación de energía eléctrica. Aunque desde luego la segunda ofrece un atractivo financiero, es motivo de un cuidadoso estudio y evaluación por parte del D.D.F.