

Proyecto MICROPHILOX

Valorización energética de biogás en depósitos controlados mediante microturbinas

Ferran Relea⁽¹⁾, Elena Jiménez⁽¹⁾, Elisabet González⁽¹⁾, Marianne Haberbauer⁽²⁾, Francesc Broto⁽³⁾, Luis Comellas⁽³⁾, Cristina Ribas⁽³⁾, Gemma Gotor⁽³⁾, Eusebi Roig⁽³⁾, Núria Vallmitjana⁽³⁾

⁽¹⁾ Cespa, ⁽²⁾ Profactor, ⁽³⁾ IQS-PEINUSA

El elevado potencial energético que presenta el biogás generado en los depósitos controlados de residuos lo convierte en una atractiva fuente de energía renovable. Su valorización permite la obtención de electricidad y calor, a la vez que contribuye a la diversificación energética y a la reducción del efecto invernadero.

Hoy en día, la tecnología más desarrollada para el aprovechamiento energético del biogás de vertedero son los motores de cogeneración. No obstante, esta alternativa sólo es técnica y económicamente viable a partir de potencias superiores a 500 kW, por lo que nos encontramos con que actualmente sólo se lleva a cabo la valorización energética en explotaciones en las que se generan caudales de biogás elevados y con alta concentración de metano, quedando excluidos los pequeños vertederos y aquéllos que se encuentran en su fase inicial o final de explotación. En estos casos, el biogás es quemado en una antorcha desaprovechándose así una importante fuente de energía renovable.

En este marco, surge en 2005 el proyecto MICROPHILOX financiado por el programa LIFE de la Unión Europea y desarrollado por Cespa, Profactor, Institut Químic de Sarrià (IQS) y Promotora de Enlace Industria Universidad, S.A. (PEINUSA), el cual aporta importantes innovaciones tecnológicas como son el uso de microturbinas para la valorización energética de biogás, un novedoso sistema de depuración biológica y el desarrollo de un sistema de análisis de siloxanos de probada repetibilidad. (Ver Figura 1)

Microturbinas en depósitos controlados

Actualmente, los motores de cogeneración son la tecnología más desarrollada para el aprovechamiento de biogás de depósito controlado. No obstante, sólo resultan viables en instalaciones a partir de 500 kW, con lo que

existen numerosos vertederos en los que a causa de una baja producción de biogás o de una baja calidad de éste, en cuanto a concentración de metano se refiere, no se está aprovechando esta fuente de energía. Ante esta problemática, las microturbinas se plantean como una atractiva alternativa tecnológica a los motores de cogeneración gracias a dos de sus principales características:

- Se trata de elementos modulares con capacidades unitarias entre 30 y 200 kW que pueden agruparse en serie y por tanto son aptas para cualquier tipo de instalación.
- Permiten el funcionamiento con gases de bajo poder calorífico, lo que en el caso del biogás se traduce en un contenido en metano mínimo de un 30-35%, inferior al 40% requerido por un motor de cogeneración.

Además:

- Se trata de elementos compactos y con pocas partes móviles por lo que

presentan menor coste de mantenimiento.

- Presentan menores emisiones atmosféricas y sonoras en relación con los motores térmicos.

En el año 2005, momento en que se plantea el proyecto MICROPHILOX, sólo existían en España experiencias de funcionamiento de microturbinas con gas natural. Dadas las ventajas que presentaban estos equipos, Cespa decide probar esta tecnología con biogás de vertedero, instalando en 2006 en el depósito controlado de Orís, propiedad del Consell Comarcal d'Osona, la primera microturbina funcionando con biogás del estado español. (Ver InfoEnviro, N° 25 Mayo 2007, Pág. 75).

Depuración del biogás

La viabilidad de una instalación de valorización energética de biogás puede verse comprometida a causa de la presencia en el flujo de gas de determinados elementos como el ácido sulfhídrico y los siloxanos, los cuales ocasionan

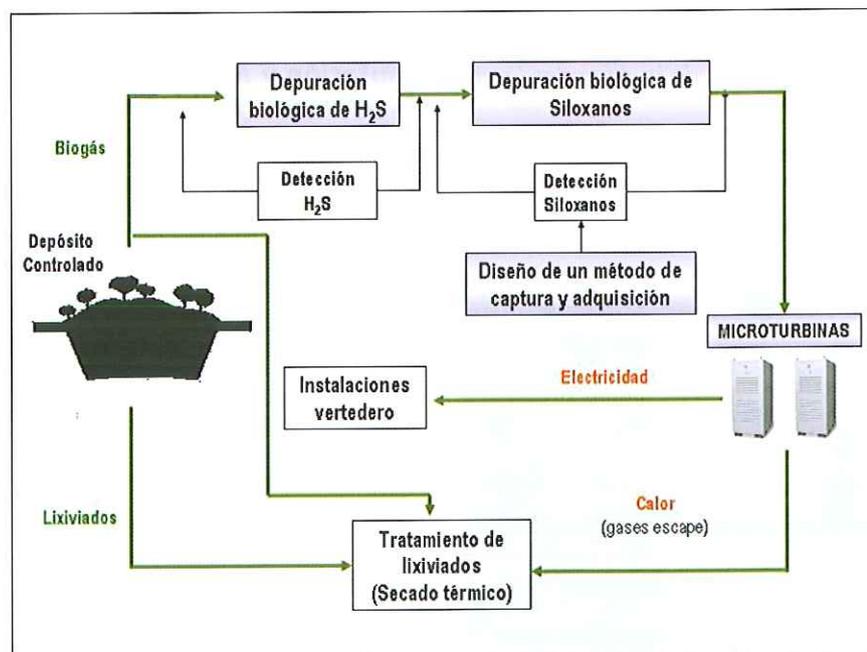


Figura 1. Esquema del proceso MICROPHILOX

graves daños a los equipos de aprovechamiento aumentando los costes de mantenimiento y disminuyendo la eficiencia del sistema hasta el punto de poder hacer inviable la operación.

Existen diversas tecnologías de depuración de biogás siendo el carbón activo la más utilizada por su sencillez y eficiencia, a pesar de su elevado coste. En los últimos años, los métodos de depuración biológica han conseguido importantes avances y actualmente llegan a alcanzar rendimientos similares a los de los métodos físico-químicos. Así, la utilización de filtros biológicos para la limpieza del biogás permitiría reducir este coste de operación, ya sea por sustitución integral del filtro de carbón activo o bien como pretratamiento a dicho filtro, con el consiguiente aumento de los periodos de recambio del carbón activo.

Siguiendo esta línea de trabajo, el centro tecnológico Profactor, ha diseñado y fabricado, en el marco del proyecto MICROPHILOX, un prototipo de depuración biológica de biogás (BBCS) para la eliminación del ácido sulfhídrico y los siloxanos y para el cual se han establecido los siguientes objetivos de eficiencia:

- Concentración de H₂S a la salida del sistema < 10 ppmv.
- Reducción del 50% de los de siloxanos independientemente de la concentración inicial en el biogás.

El sistema diseñado consiste en dos biofiltros percoladores conectados en serie. En la primera columna se produce la desulfuración, mientras que en la segunda se lleva a cabo la eliminación de los siloxanos del biogás. Las bacterias encargadas de la degradación de los contaminantes son alimentadas con oxígeno y con una solución acuosa de NPK que aporta los nutrientes necesarios para su reacción metabólica. En el caso del biofiltro de H₂S, el oxígeno es aportado a la solución de nutriente a



Figura 2. Cromatógrafo de gases

Microturbinas*

Las microturbinas son equipos muy similares a las turbinas convencionales, pero con algunas diferencias en el modo de funcionamiento. La principal diferencia es el hecho de tener un ciclo de recuperación de calor para mejorar el rendimiento. El resto de diferencias se encuentran en el sistema de transformación de energía mecánica a eléctrica, ya que no existe una transmisión mecánica que haga funcionar el alternador directamente a 50 Hz, sino que el alternador funciona a alta frecuencia y la conversión se realice con electrónica de potencia.

El funcionamiento de una microturbina es muy sencillo. El aire es aspirado y tras pasar por un filtro de partículas es comprimido. A continuación, se hace circular por un intercambiador de calor donde absorbe parte de la energía de los gases de escape. El motivo es incrementar la temperatu-

ra previamente a la entrada a la cámara de combustión con lo que se consigue aumentar la eficiencia del proceso. Una vez en la cámara de combustión, se realiza la inyección del biogás y se produce la combustión de la mezcla. A diferencia de los motores alternativos, las turbinas precisan de una presión del biogás de entre 3 y 5 bar, suficiente para ser inyectado a la cámara de combustión. Los gases calientes producto de la combustión se expanden en la turbina, que al girar mueve el alternador eléctrico y el compresor. Los gases de escape expandidos se hacen circular por el intercambiador de calor. La salida del alternador es corriente alterna a alta frecuencia, por lo que es necesario la incorporación de un rectificador AC/DC y de un inversor que permita obtener una corriente alterna trifásica de 50 Hz.

*(Fuente: Capstone)

través de una columna de burbujeo, siendo ésta la principal novedad tecnológica del sistema. Para las bacterias del filtro de siloxanos, el oxígeno es directamente inyectado en la corriente de gas. El pH de trabajo se fijó entre 6 y 7, y es regulado mediante la adición de una disolución de NaOH almacenada en un depósito anexo.

Todo el sistema ha sido diseñado para funcionar de manera autónoma gracias a la conexión de los equipos a un PLC y al software de control desarrollado que permite la operación remota del sistema.

Captación y análisis de siloxanos en biogás

La presencia en el biogás de cantidades traza de siloxanos supone un serio problema para su aprovechamiento energético, ya que la combustión de estas substancias produce un residuo con unas características físicas y químicas similares a las del vidrio, ocasionando daños severos en los equipos. Por este motivo, los fabricantes especifican los valores máximos de siloxanos que admiten en el gas, razón por la cual, y también para poder valorar la bondad de los tratamientos de limpieza, es importante conocer la cantidad exacta de los siloxanos en el biogás. Para ello, el IQS-PEINUSA ha desarrollado una metodología de captura y análisis de siloxanos contenidos en el biogás, la cual ha permitido solventar los actuales problemas causados por la variabilidad de los resultados analíticos detectada al

aplicar diferentes sistemas de análisis. Tras una búsqueda bibliográfica exhaustiva inicial, se estudiaron diferentes métodos de toma de muestras de biogás o de captura de siloxanos: en bolsas Tedlar, en disolventes líquidos (hexano y acetona) o en adsorbentes sólidos tipo carbón activado, grafito, polímeros de divinilbenceno-estireno y de tenax. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la utilización de adsorbentes sólidos era el método más efectivo a la vez que también el más sencillo, concluyendo que la toma de muestra debía consistir en retener los siloxanos en adsorbentes sólidos usando tubos de carbón activado.



Figura 3. Microturbinas instaladas en el vertedero de Orís

Una vez retenidos los siloxanos, el procedimiento consistía en realizar una desorción con hexano y el análisis de extracto mediante técnicas cromatográficas. Se realizaron pruebas mediante dos técnicas de análisis HRGC-FID y HRGC-MS en modos SCAN, SIM y combinado SCAN/SIM. La técnica HRGC-MS (SCAN/SIM) consiguió la selectividad necesaria para la detección de la presencia de siloxanos en matrices complejas de biogás. Para la estimación de la concentración de siloxanos en este tipo de muestras se concluyó que el análisis por HRGC-MS (SIM) era suficientemente preciso y exacto. (Ver Figura 2).

Una vez desarrollado y validado el procedimiento de toma de muestra y análisis cualitativo y cuantitativo, se procedió a estudiar muestras reales obtenidas en diferentes explotaciones con el objetivo de determinar la variabilidad de la concentración de siloxanos en diversos vertederos y completar la validación del procedimiento con muestras de distintos orígenes.

Demostración en un depósito controlado del sistema de aprovechamiento energético de biogás desarrollado en el proyecto MICROPHILOX

El depósito controlado de Orís (Barcelona), gestionado por Cespa y propiedad del *Consell Comarcal d'Osona*, es un vertedero de pequeña capacidad que da servicio a aproximadamente 175.000 habitantes y en el que se recoge alrededor de 50.000 t de residuo al año. El depósito controlado cuenta con un sistema de desgasificación que permite la recuperación de 150 m³/h de biogás con un contenido en metano de aproximadamente un 40%. Con estos valores de producción, la instalación de un motor de cogeneración no se planteaba viable, pero en cambio, se presentaba como el escenario ideal para la demostración de la viabilidad del sistema de aprovechamiento energético desarrollado en el proyecto MICROPHILOX. (Ver Figura 3).

Así, en el año 2005 se inició el proyecto con el diseño, instalación y operación, por parte de Cespa, de un sistema de aprovechamiento energético de biogás con 2 microturbinas Capstone de 30 kWe cada una. Paralelamente, Profactor, mediante el apoyo local de la empresa Protecma, se responsabilizó del desarrollo, fabricación y posterior integración del sistema de depuración biológico

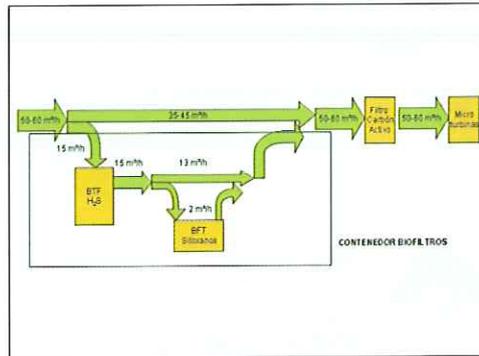


Figura 4. Esquema del prototipo BBCS

de biogás para la eliminación de H₂S y siloxanos presentes en el biogás. A pesar de que el planteamiento inicial era el desarrollo de un biofiltro que actuara sobre el total del caudal de alimentación de las microturbinas, se optó por un prototipo de menor tamaño (15 m³/h_{biogás} para el filtro de H₂S y 2 m³/h_{biogás} para el de siloxanos) dado el elevado riesgo que suponía el cambio de escala directo de prototipo de laboratorio a escala industrial. Una vez construidos, ambos biofiltros fueron montados en el interior de un contenedor y operados con una corriente bypassada del conducto principal de biogás. (Ver Figuras 4 y 5).

La operación de depuración del biogás es controlada de forma automática. Con el fin de comprobar la eficiencia del sistema de depuración, los valores de H₂S, O₂ y CH₄ son medidos antes y después de cada columna de filtrado mediante un analizador en continuo. Por otra parte, los siloxanos son analizados de forma manual con un dispositivo de toma de muestra de campo aplicando la metodología de análisis de siloxanos desarrollada por el IQS y PEINUSA. (Ver Figura 6).

Resultados

El sistema de aprovechamiento energético desarrollado ha cumplido con las expectativas previstas: generación de



Figura 6. Detalle de carbón activado

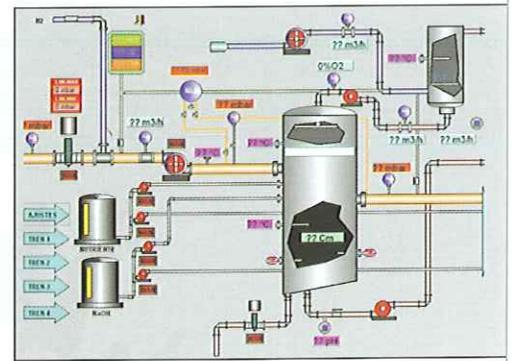


Figura 5. Panel de control del biofiltro H₂S

60 kW eléctricos con microturbinas, eficiencias de depuración de H₂S de hasta un 95% y validez demostrada de un método de captura y análisis de siloxanos en biogás. En cuanto a los resultados preliminares de eliminación de siloxanos con método biotecnológico, éstos están por debajo del 50% del rendimiento estimado inicialmente a partir de los ensayos previos en laboratorio. Uno de los problemas detectados es la baja concentración de siloxanos en la corriente de entrada. Con el fin de mejorar este rendimiento, se están realizando ensayos de modificaciones en la composición de los nutrientes con los que se alimentan las bacterias de siloxanos.

En un futuro, además, está previsto mejorar la eficiencia energética del sistema mediante la recuperación del calor de los gases de escape de las microturbinas, el cual será utilizado en un proceso de secado de lixiviados ya existente en el vertedero.

Próximamente, y tras más de tres años de trabajos, el proyecto MICROPHILOX finaliza y lo hace con un Workshop en el que se presentarán los resultados técnicos, económicos y medioambientales obtenidos en una jornada que tendrá lugar el 26 de marzo de 2009, en la que, además, destacados investigadores y técnicos expondrán los resultados de sus experiencias de valorización energética de biogás.

El interés tecnológico y la calidad de esta actuación han sido premiados con diversos galardones nacionales e internacionales como el otorgado por Garrigues Medio Ambiente y Expansión a la más brillante iniciativa empresarial 2006 en la categoría de Innovación, desarrollo y aplicación de las mejores tecnologías, el Energy Globe Award 2006 y el premio Bionergía Plata 2008 otorgado por Ategrus.

Más información en: www.microphilox.com