



Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento de biogás

Capítulo 6. Microturbinas



PSE PROBIOGAS.

Desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial en España.

PS-120000-2007-6



Microturbinas

Autores:

Jiménez Coloma, Elena (CESPA)
Gonzalez Prieto, Elisabet (CESPA)

Fecha de publicación:

31-03-2010



ÍNDICE

1 Antecedentes	3
2 Introducción	4
3 Descripción de la tecnología	4
4 Aspectos económicos del empleo de microturbinas para la generación eléctrica y térmica	8
4.1 Estudio de mercado	8
4.2 Iniciativas a nivel europeo	8
4.3 Costes de una planta de aprovechamiento de biogás con microturbinas	9
5 Conclusiones	10
6 Bibliografía	11



1 Antecedentes

El proyecto singular y estratégico PROBIOGAS, cofinanciado por el MICINN y los fondos FEDER (2007-2011), integra un conjunto de actividades de carácter científico tecnológico que están interrelacionadas entre sí y que tienen como objetivo común "el desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás en entornos agroindustriales, así como la demostración de su viabilidad y promoción en España". El proyecto está formado por 14 subproyectos e incluye estudios de viabilidad, acciones de investigación y desarrollo, proyectos de demostración a escala industrial, y acciones complementarias para la coordinación y difusión del proyecto.

En el subproyecto 4 "BIOGÁS" se estudia la viabilidad de los distintos aprovechamientos del biogás agroindustrial: motores de co-generación, vehículos de transporte, inyección en la red de gas natural, uso en pilas de combustible y uso en microturbinas.

Fruto de estos estudios, se han elaborado cinco informes de viabilidad, uno para cada tipo de aprovechamiento, en los cuales se describe la tecnología y las condiciones de su aplicación, así como los costes de inversión y operación. Además, se ha elaborado un informe sobre la caracterización y purificación del biogás.

El presente informe corresponde al estudio de viabilidad del uso de microturbinas para el aprovechamiento energético del biogás.

El presente estudio ha sido realizado con fines experimentales. Aun cuando en su elaboración los autores han procurado el máximo rigor en el tratamiento de los datos e informaciones contenidas en el mismo, no se acepta responsabilidad alguna por la utilización que de los mismos pueda realizarse. Cualquier uso posterior deberá contrastarse adecuadamente.

Es propiedad, (c) CESPA GESTIÓN DE RESIDUOS S.A. / Consorcio PROBIOGAS 2009. Todos los derechos reservados.



2 Introducción

Determinados usos del biogás para la obtención de energía eléctrica y/o térmica, sólo son viables económicamente a partir de ciertas producciones. Este es el caso de los motores de cogeneración, los cuales sólo son rentables en plantas con generaciones superiores a 600 kWe, lo que implica caudales de biogás por encima de los 300 Nm³/h. Otro de los inconvenientes que presenta esta tecnología, es que el biogás ha de tener un contenido mínimo en metano del 40%. Es decir, que en aquellas instalaciones en las que no se cumplen ninguno de estos dos requerimientos se hace necesario buscar nuevas alternativas tecnológicas que hagan viable el proceso de aprovechamiento energético del biogás.

Las microturbinas se presentan como una posible solución para este tipo de plantas. Se trata de equipos muy similares a las turbinas convencionales con potencias comprendidas entre los 30 y los 200 kW, cuya modularidad permite la conexión en serie de tantos elementos como sean requeridos. Otra de las características que las hace muy interesantes para su aplicación con biogás de digestión anaerobia es que presentan una tolerancia muy elevada a la presencia de ácido sulfhídrico en el biogás, disminuyendo las necesidades de depuración.

Se han estudiado las diferentes iniciativas existentes a nivel europeo de utilización de microturbinas con biogás, en especial las experiencias en instalaciones de digestión anaerobia.

Se ha realizado un estudio de mercado de microturbinas, los productos de esta tecnología existentes en el mercado y el tipo de aplicación y/o instalación de generación de biogás a la que se adapta.

3 Descripción de la tecnología

En el sector agroindustrial existen numerosas empresas que generan cantidades moderadas de residuos orgánicos susceptibles de ser tratados por medio de procesos de digestión anaerobia. Dadas las pequeñas cantidades de material orgánico generadas por estas explotaciones, en la mayoría de los casos no es económico para las empresas plantearse el empleo de sistemas de valorización de sus residuos. En el caso de la digestión anaerobia, el aprovechamiento del biogás obtenido para la generación de electricidad y calor, puede mejorar el balance económico de este tipo de explotaciones.

Actualmente, la tecnología más utilizada para la valorización energética del biogás son los motores de cogeneración, los cuales no obstante, presentan algunos inconvenientes como, por ejemplo, que no son ni técnica ni económicamente



viabiles en instalaciones con baja producción de biogás (inferiores a 300 m³/h) o con biogases pobres en metano (por debajo del 40%). Ante esta problemática, las microturbinas se presentan como una posible solución, ya que se trata de elementos modulares con potencias comprendidas entre 30 y 200 kW, lo que las convierte en una alternativa atractiva para plantas de biogás con pequeñas producciones.

Las microturbinas son equipos muy similares a las turbinas convencionales, pero con algunas diferencias en el modo de funcionamiento. La principal diferencia es 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 realiza con electrónica de potencia.

El rango de potencia eléctrica de las microturbinas está comprendido entre 30 y 200 kW, al tratarse de equipos modulares que pueden conectarse en serie son muy interesantes para aplicaciones en las que se dispone de pequeños caudales de biogás. Otra de sus características interesantes es que pueden trabajar con biogás con un contenido mínimo de metano de hasta un 35%, frente al 40% exigido por los motores de cogeneración, lo que permite las aplicaciones con gases pobres. Además, a diferencia de los motores térmicos, se trata de equipos que toleran contenidos elevados de ácido sulfhídrico (hasta 70.000 ppm), otro aspecto que las hace muy adecuadas para trabajar con biogás procedente de digestión anaerobia.

Las microturbinas están integradas por un compresor y una turbina radial, con un recuperador que permite precalentar el aire de combustión para mejorar la eficiencia eléctrica. Normalmente, constan de un eje simple en el que se acoplan la turbina, el compresor y el generador, y que alcanza velocidades de giro de hasta 100.000 rpm.

El funcionamiento de una microturbina, véase Figura 22, es muy sencillo. El aire es aspirado y tras pasar por un filtro de partículas se comprime. A continuación, se hace circular por un intercambiador de calor donde se absorbe parte de la energía de los gases de escape. El motivo es incrementar la temperatura previamente a la entrada de 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 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 necesaria la incorporación de un rectificador AC/DC y de un inversor que permita obtener una corriente alterna trifásica de 50 Hz.

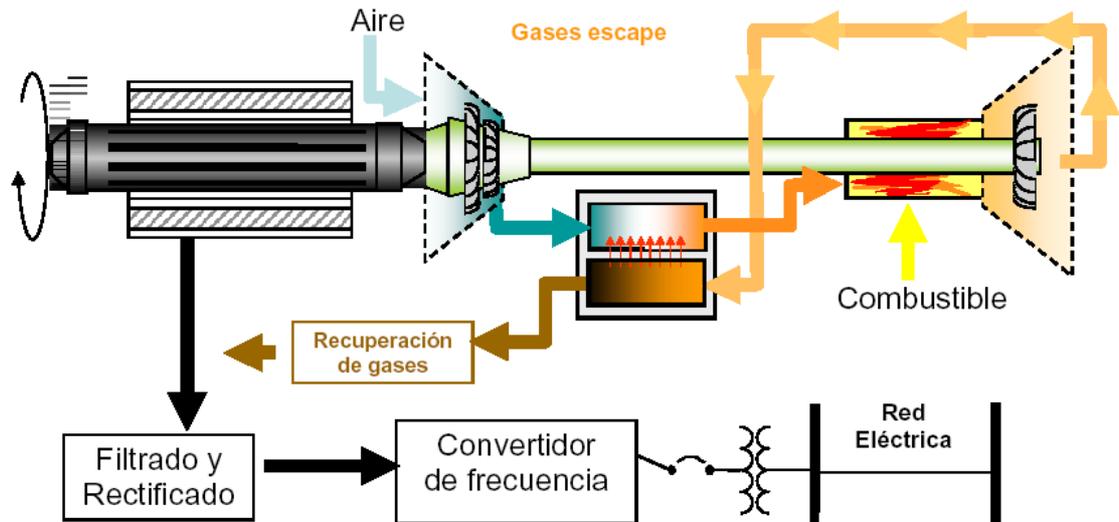


Figura 1. Funcionamiento de una microturbina.

En las aplicaciones con cogeneración, el calor residual de la microturbina se utiliza para producir agua caliente, calefacción, secado de líquidos o incluso puede ser utilizado en equipos de frío por absorción. El aprovechamiento de este calor residual permite mejorar la eficiencia total del sistema.

El sistema de refrigeración de una microturbina suele ser por aire y casi todos los diseños utilizan cojinetes neumáticos con lo cual se eliminan los líquidos lubricantes, reduciendo también el mantenimiento. Por otra parte, como la única parte móvil del sistema es el eje, aumenta la fiabilidad mecánica del sistema y disminuye el ruido emitido por el equipo. Dependiendo del fabricante, los intervalos entre revisiones se recomiendan cada 8.000 y 20.000 horas y los overhaul cada 40.000 horas.

Otra característica intrínseca de las microturbinas es la capacidad de producir bajas emisiones. Los contaminantes característicos son: NO_x, CO, HC sin quemar y SO₂. La presencia de NO_x es debida a elevadas temperaturas en la combustión, por lo cual se utiliza mezcla pobre, consiguiéndose emisiones por debajo de las 9 ppm de NO_x. El CO y el HC se producen por combustiones incompletas a causa de tiempos de residencia insuficientes.



En cuanto a rendimientos eléctricos, en función del modelo de microturbina, éstos varían entre el 15% y el 33%, y son inferiores a los que se tienen en un motor de cogeneración de 1 MW, los cuales presentan un rendimiento eléctrico del 40%. No obstante, el rendimiento de las microturbinas puede verse incrementado mediante el aprovechamiento energético de los gases de escape. En este caso, se puede llegar a obtener rendimientos de hasta el 83%, igualándose entonces a las eficiencias de los procesos de cogeneración con motores.

Otra de las ventajas de esta tecnología respecto otras alternativas es que presentan una tolerancia elevada a la presencia de ácido sulfhídrico en el biogás, estando el límite exigido por los fabricantes alrededor de los 70.000 ppm de H₂S. Este aspecto permite reducir costes en los sistemas de depuración del biogás, al disminuir la exigencia de calidad.

Tabla 1. Comparación de las características de los motores de cogeneración con las microturbinas.

	Motor cogeneración	Microturbinas
Modularidad	>600 kW	30-200 kW
Concentración mín. CH ₄	40%	35%
Concentración máx H ₂ S	1.750 mg/Nm ³	175.000 mg/Nm ³
Eficiencia eléctrica	40%	16-33%
Eficiencia térmica	41%	60-50%
Rodamientos	Aceite.	Aire. No lubricantes
Requerimientos mantenimiento	Alto. Partes móviles	Bajo. Una única parte móvil
Emisiones	↑CO ₂ , ↑NO _x	↓CO ₂ , ↓NO _x



4 Aspectos económicos del empleo de microturbinas para la generación eléctrica y térmica

4.1 Estudio de mercado

Los primeros desarrollos en el ámbito de las microturbinas se produjeron alrededor de los años setenta, aunque fue a partir de los noventa cuando se produjo un resurgimiento de esta tecnología. Las microturbinas se basan en tecnologías comúnmente utilizadas en la industria aeronáutica e incluso en aplicaciones militares, experiencia que ha sido explotada por las empresas estadounidenses para desarrollar un producto comercial.

Actualmente en Europa, sólo existen dos empresas fabricantes de microturbinas: Turbec en Suecia y Bowman Power en Gran Bretaña, y tres fabricantes en Estados Unidos: Capstone, Ingersoll Rand y Elliot Energy Systems. Hoy por hoy, el fabricante líder indiscutible es Capstone (www.capstoneturbine.com) con más de 3.500 equipos en funcionamiento con diferentes tipos de combustible, entre ellos el biogás de digestión anaerobia y de vertedero. Dispone de tres modelos de 30, 65 y 200 kW (modelos C30, C65 y C200) y disponen de soluciones de hasta 1 MW eléctrico basadas en la turbina C200.

4.2 Iniciativas a nivel europeo

Las microturbinas son una tecnología cuyo funcionamiento está ampliamente demostrado para gas natural. Existen también numerosas experiencias con biogás procedente de la digestión anaerobia de aguas residuales. No obstante, el número de aplicaciones con biogás de origen agroindustrial es mucho más reducido, aunque se ha comprobado que, con unas mínimas modificaciones, pueden ser también utilizadas para la generación de energía eléctrica y térmica en este sector.

La primera experiencia documentada de la utilización de una microturbina con biogás de digestión anaerobia de residuos ganaderos, fue en el año 2001 en California.

Posteriormente, en el año 2004, otro proyecto demostró en Estados Unidos la viabilidad de una microturbina para la generación de energía eléctrica a partir de biogás procedente de residuo agrícola.

En Europa, también han existido experiencias piloto con biogás de residuo agroindustrial. Se tiene conocimiento de plantas en Suecia (tecnología Turbec) y en Alemania (Capstone).



Actualmente, existen ya en Europa aplicaciones de microturbinas con biogás procedente de la digestión anaerobia de residuos agrícolas y ganaderos. La empresa *Greenenvironment*, fundada en Finlandia, es pionera en la instalación de plantas de estas características gracias a su innovador concepto de utilización del biogás que consiste en que el explotador, que suelen ser pequeñas plantas, vende el biogás producido a esta empresa, quien se encarga de la operación de la planta de aprovechamiento energético mediante microturbinas. Hoy por hoy, tienen un gran número de instalaciones en Finlandia y Alemania. Sólo en este último país cuentan ya con más de 14 plantas con un total de 4,2 MWe instalados.

4.3 Costes de una planta de aprovechamiento de biogás con microturbinas

El diseño de una planta de aprovechamiento de biogás depende de diversos factores. En el caso concreto de las microturbinas, en función de la producción de biogás se definirá el número de equipos a utilizar. Por otra parte, la calidad del biogás nos indicará el tipo de unidad de tratamiento necesaria para alcanzar los requerimientos del fabricante de las microturbinas. La correcta elección de la tecnología de tratamiento es un punto clave, ya que una depuración inadecuada puede presentar elevados costes de operación que pueden comprometer la viabilidad económica del sistema.

Al referirse únicamente a los costes de los equipos, se tiene que éstos se pueden dividir en costes de inversión y de operación.

Los costes de inversión de las microturbinas dependen de la potencia instalada, y éstos se ven reducidos a medida que aumenta dicha potencia, observándose importantes reducciones hasta 300 kW, punto en el que se alcanza un óptimo, con costes alrededor de los 250€/MWh producido.

Los costes de operación son más difíciles de estimar debido a que por un lado dependen de la calidad del biogás y por otro de la tecnología de depuración utilizada. En un caso típico de depuración con carbón activo para una planta de 60 kW estos costes se sitúan alrededor de 1,44 €/h de funcionamiento de la planta sin incluir la dedicación de personal.

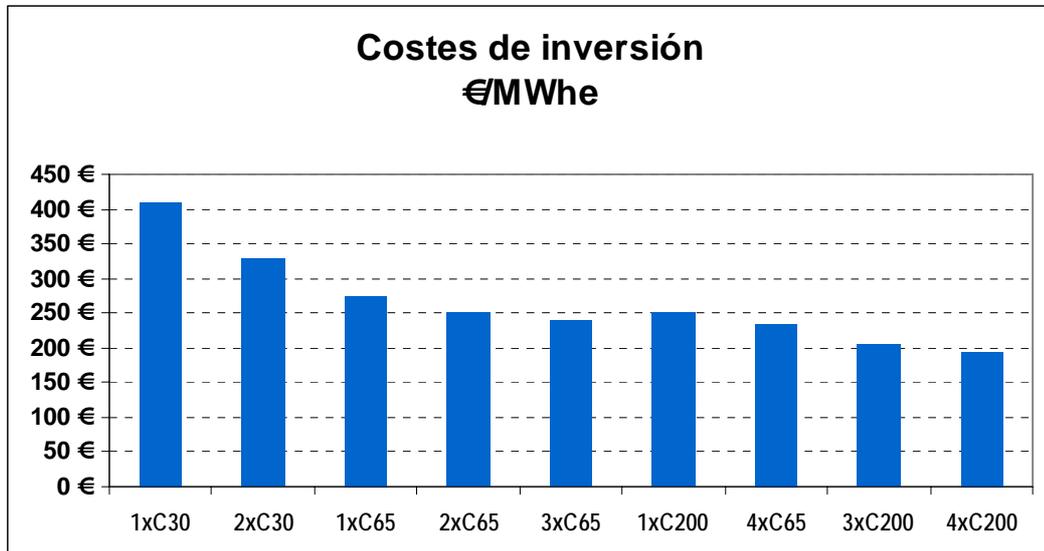


Figura 2. Costes de inversión en microturbinas. Fuente. Micropower Europe.

5 Conclusiones

Los estudios realizados permiten concluir que las microturbinas son una tecnología apropiada para la generación de energía eléctrica y térmica con biogás procedente de la digestión anaerobia con residuos agroindustriales.

Su modularidad las convierte en la alternativa más adecuada para pequeñas plantas con bajas producciones de biogás. Por otra parte, la elevada tolerancia de estos equipos al contenido en ácido sulfhídrico del biogás permite disminuir los costes de operación del sistema, aunque el análisis de costes será específico de cada caso concreto siendo muy difícil la obtención de cifras generales.

En Europa existen ya aplicaciones de microturbinas con biogás de digestión anaerobia, principalmente en Finlandia y Alemania, donde el modelo basado en pequeñas plantas de digestión de residuo agroindustrial está muy extendido.



6 Bibliografía

1. Biogas-fuelled microturbines Feature. Cogeneration and on-site power production. November-december 2008
2. Case Valley Fig Growers digester gas-to-energy. One MT70L microturbine
3. Technical references Capstone microturbines C-30, C-65, C-200
4. Greenenvironment plants references (<http://greenenvironment.de>)