



# Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento de biogás

## Capítulo 2. Motores de cogeneración



**PSE PROBIOGAS.**

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

PS-120000-2007-6



## **Motores de cogeneración**

### **Autores:**

Iruretagoiena, Iñaki (GUASCOR)  
González Cano, Iñaki (GUASCOR)

### **Fecha de publicación:**

31-03-2010



## ÍNDICE

<b>1 Antecedentes .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>3 Descripción de la tecnología .....</b>	<b>5</b>
3.1 Definición de especificaciones .....	6
3.2 Requisitos del biogás. Necesidades de adecuación.....	8
3.3 Escalabilidad del sistema .....	15
3.4 Revisión de los sistemas .....	15
3.5 Rediseño de componentes críticos .....	15



## 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 motores de cogeneración para el aprovechamiento 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) GUASCOR INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO S.A. / Consorcio PROBIOGAS 2009. Todos los derechos reservados.*



## 2 Introducción

El aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos ha sido y seguirá siendo una actividad con múltiples y diversas aplicaciones. En los últimos años las aplicaciones cuyo objetivo se centra en la generación eléctrica están incrementándose notablemente. En muchas de estas aplicaciones la piedra angular de las mismas es un motor capaz de aprovechar la energía disponible en un combustible generado a partir de dicha biomasa mediante procesos más o menos complejos.

Afortunadamente los sistemas actuales de carburación electrónica permiten operar los motores sin problemas en este tipo de aplicaciones. Este tipo de aplicaciones está muy consolidada en Alemania, donde se encuentran grandes especialistas en el proceso de biometanización, así como fabricantes de motores de gran prestigio. Así mismo está creciendo con fuerza en Estados Unidos.

Desde el punto de vista del motor, la complejidad de la valorización del combustible generado a partir de la biomasa depende principalmente de la composición del mismo (tanto de los componentes mayoritarios, como sobre todo de los contaminantes que presenta el mismo), así como de su variabilidad.

Entre los gases en base metano (biogás) se encuentran los gases procedentes de biometanizaciones. Las aplicaciones con gases procedentes de las biometanizaciones sin embargo presentan unas particularidades específicas, estos gases muestran habitualmente variaciones en su composición notablemente más acusadas y rápidas, dependiendo tanto de la biomasa de origen como de las condiciones en las que tiene lugar el proceso.

En este informe se presenta un análisis de las instalaciones de cogeneración ya existentes, evaluando las potencias instaladas y las tecnologías de los motores utilizados, así como el conjunto de instalaciones auxiliares, sus consumos energéticos y su inversión asociada. Se establecen los parámetros mínimos necesarios de la caracterización del biogás, así como los límites máximos permitidos de contaminantes que pueden aparecer en el gas de digestión anaeróbica en motores. Los componentes críticos del sistema de renovación de carga del motor han sido rediseñados de forma que puedan operar con gases de biometanización que contengan cantidades mucho más elevadas de compuestos ácidos de las actualmente permitidas en motores de gas. Se han definido los protocolos de ensayo que permitirán comparar las diferentes soluciones diseñadas, validando las mismas, así como instrucciones básicas ante posibles contingencias.



### 3 Descripción de la tecnología

La cogeneración se define como la producción simultánea de energía eléctrica y térmica a partir de un mismo combustible. La ventaja de la cogeneración frente a los sistemas que únicamente generan electricidad, es la mayor eficiencia energética global del proceso.

La cogeneración se puede llevar a cabo con diferentes sistemas: turbinas de vapor, turbinas de gas, motores de combustión interna alternativos, microturbinas, motores Stirling o ciclos Rankine. Según el rango de potencia, son más adecuadas unas tecnologías u otras.

Tabla 1. Tecnologías utilizadas para la valorización del biogás (IDAE).

Tecnología	MCIA	Microturbina	Turbina de gas	Stirling	Pilas de combustible
Tamaño (MW)	0,03 – 6	0,001 – 0,4	0,5 – 30	0,0250 – 0,055	0,1 – 3
Inversión (€/MW)	560.000 – 965.000	950.000 – 1.350.000	325.000 – 725.000	900.000 – 1.600.000	3.200.000 – 4.000.000
O&M (€/MWh)	6,2 – 16	6,4 – 12	3,2 – 8	4 – 6,4	1,5 – 2,3
Eficiencia sobre PCI (%)	30 – 42	14 – 30	21 – 40	30	26 – 50

Como se puede ver en la Tabla 1, para el rango de potencias más habitual en las plantas de biogás agroindustrial, la alternativa más económica es el MCIA (Motor de Combustión Interna Alternativo), que además es competitiva en términos de eficiencia sobre PCI. Por este motivo, los motores de cogeneración son la alternativa más ampliamente utilizada en el ámbito del biogás agroindustrial. Esto se ve favorecido, además, por la existencia de primas a la producción eléctrica a partir del biogás, que aumentan con el rendimiento eléctrico equivalente, promoviendo así la producción de calor útil.

El motor de combustión interna alternativo utiliza la energía química contenida en un combustible (en este caso, biogás), en energía térmica útil y energía mecánica. La energía mecánica, a su vez, se utiliza en un rotor que la transforma en energía eléctrica. Los motores de cogeneración producen dos corrientes de energía térmica:



una a baja temperatura (80-90°C) procedente de la refrigeración de la camisa del motor, y otra a alta temperatura (450-500°C) procedente de los gases de escape del motor.

La cogeneración mediante motores de combustión interna alternativos es una tecnología madura, con amplia implantación en la industria, aunque normalmente se utiliza con combustibles como el gas natural. Para utilizar biogás, aunque no es necesario llevarlo a calidad de biometano, es preciso reducir la concentración de determinados componentes, principalmente la humedad y el sulfuro de hidrógeno. Los siloxanos también son contaminantes que es preciso eliminar, aunque no suelen estar presentes en el biogás agroindustrial, siendo más habituales en el biogás de vertederos o de depuradoras.

### **3.1 Definición de especificaciones**

Los motores para aplicaciones de gases procedentes de biometanizaciones, montan una configuración diferente al de otro tipo de aplicaciones, debido principalmente a los requerimientos de robustez necesaria para hacer frente al tipo de gases empleados.

Varios componentes de motor son específicos para esta aplicación, entre los que destaca la eliminación de bronce de los elementos que están en contacto con el aceite y o gases cárter, por ejemplo los cojinetes donde se suprime el bronce por aleaciones especiales de aluminio en las capas de rodadura.

Los gases de escape procedentes de biometanizaciones producen componentes ácidos, para contrarrestar estos ácidos se propone la utilización de nuevos materiales y el uso de aceites de motor especiales, desarrollados para neutralizar componentes ácidos. Lógicamente el aceite ve afectada su vida útil en función de la clase y cantidad de los componentes ácidos que ha de contrarrestar, degradándose y provocando la creación de lacas y barnices en las guías de las válvulas de escape de las culatas, lo que puede llegar a desencadenar un fallo de culata por agarrotamiento, por lo que es necesario el rediseño de componentes.

Utilización de aceites especiales para neutralizar los ataques ácidos. Además del contenido en ceniza existen parámetros claves para los aceites de motor de gas que incluyen: contenido de fósforo, resistencia a la oxidación y nitración (frecuentemente producida por las temperaturas altas) e inhibición de corrosión (especialmente con gases agresivos).



### **3.1.1. Especificaciones del aceite lubricante**

El aceite debe tener un contenido alto en cenizas. Estar formulado con bases parafínicas de la más alta calidad y su paquete de aditivos neutralizar la acción altamente corrosiva de los Biogases. Poseer una excelente estabilidad térmica, notable resistencia a la formación de espuma, buena demulsibilidad y protección contra la corrosión en cilindros y cojinetes, reducir la tendencia a la formación de depósitos carbonosos, barnices y lodos, al tiempo que reducir notablemente el desgaste de segmentos, camisas y asientos de válvulas.

### **3.1.2. Aplicaciones**

Especialmente diseñado y recomendado para dar las más altas prestaciones en los motores funcionando con biogás o gas ácido, pudiendo ser utilizado en todo tipo de motores a gas de cuatro tiempos de aspiración natural o sobrealimentados, de medio y alto régimen que requieran un lubricante con un nivel alto de cenizas, una elevada reserva alcalina (TBN) y una retención de la alcalinidad suficiente como para neutralizar ácidos orgánicos derivados del cloro (TOHCl) o ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) en niveles moderados. Su utilización es aplicable tanto a motores de combustión estequiométrica como de mezcla pobre, obteniéndose un bajo consumo de aceite.

#### **Ventajas y beneficios**

- Elevada resistencia al ataque corrosivo de los gases
- Excelente comportamiento frente a la oxidación y nitración
- Muy elevada protección de los asientos y guías de las válvulas de culata
- Máxima protección contra el rayado de pistones y desgaste superficial de las camisas
- Excelente limpieza del motor
- Mínima formación de depósitos
- Gran resistencia a la formación de espuma y corrosión
- Excelente comportamiento de la reserva alcalina
- Larga duración en servicio





### 3.2 Requisitos del biogás. Necesidades de adecuación

Para la caracterización del gas que se utilizará como combustible es necesario un análisis de composición del mismo. Los análisis se realizan para la selección del tipo de motor a utilizar y la verificación del cumplimiento de especificaciones. Adicionalmente deberán realizarse análisis del gas siempre que existan dudas sobre la aparición de componentes dañinos para el motor o temporalmente como medida de control de la instalación.

El seguimiento en continuo de la composición del gas encarece la instalación, además de la fiabilidad justa de los medidores de gas en continuo que actualmente se encuentran en el mercado. Las analíticas de gas puntuales y el seguimiento exhaustivo del aceite, es mucho más económico y fiable desde el punto de vista técnico, de frecuente uso entre los fabricantes de motores.

En este punto se detallan las especificaciones para combustible gas procedente de digestión anaeróbica así como las especificaciones de aceite para este tipo de aplicaciones

Para conocer la composición de los gases de biometanizaciones deberá realizarse un análisis contemplando al menos los siguientes parámetros:

1. Descripción del punto de toma de muestra, dentro de la instalación.
2. Hora/fecha de la toma de muestra.
3. Hora/fecha de realización del análisis.
4. Método analítico empleado.
5. Temperatura y presión de suministro del gas.
6. Concentración de  $\text{CH}_4$  (%vol.)
7. Concentración de  $\text{CO}_2$  (%vol.)
8. Concentración de  $\text{N}_2$  (%vol.)
9. Concentración de  $\text{O}_2$  (% vol.)
10. Concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  (ppm o  $\text{mg}/\text{m}_n^3$ )
11. Concentración de otros compuestos de azufre (ppm o  $\text{mg}/\text{m}_n^3$ )
12. Humedad relativa del gas a la entrada a motor (%)
13. Concentración de haluros (ppm o  $\text{mg}/\text{m}_n^3$ )
14. Concentración de compuestos orgánicos halogenados (ppm o  $\text{mg}/\text{m}_n^3$ )
15. Concentración de  $\text{NH}_3$  (ppm o  $\text{mg}/\text{m}_n^3$ )
16. Concentración de BTEX ( $\text{mg}/\text{m}_n^3$ )
17. Concentración de partículas sólidas ( $\text{mg}/\text{m}_n^3$ )



Adicionalmente, en caso de sospecha de problemas por composición de gas puede contemplarse incluir los siguientes parámetros en el análisis:

18. Concentración de  $C_2H_6$  (%vol.)
19. Concentración de  $C_3H_8$  (% vol.)
20. Concentración de  $C_4H_{10}$  (%vol.)
21. Concentración de  $C_5H_{12}$  (%vol.)
22. Concentración de  $+C_6$  (% vol.)
23. Concentración de  $H_2$  (% vol.)
24. Concentración de CO (% vol.)
25. Concentración de aceites y alquitranes ( $mg/m_n^3$ )

### 3.2.1. Poder calorífico inferior

En cuanto al poder calorífico inferior de los gases de digestión anaeróbica, puede establecerse en el siguiente rango:

- 23 / 30 MJ /  $m_n^3$ , esto es, 5490 / 7165 Kcal /  $m_n^3$ : Gas depuradora
- 17 / 23 MJ /  $m_n^3$ , esto es, 4060 / 5490 Kcal /  $m_n^3$ : Gas vertedero
- 14 / 17 MJ /  $m_n^3$ , esto es, 3350 / 4060 Kcal /  $m_n^3$ : Gas vertedero pobre:  
sólo SFGLD

El proceso de biometanización tiene un margen bastante amplio dependiendo de la eficacia del proceso de digestión utilizado, pudiendo estar incluido en cualquiera de los tres rangos anteriormente establecidos.

En caso de motores de carburación mecánica la máxima variación admisible de PCI en el gas es de  $\pm 5\%$  respecto al valor del punto de carburación. Variaciones superiores implicarían un reajuste de carburación.

Deberán utilizarse motores de carburación electrónica para variaciones de PCI hasta  $\pm 10\%$  de PCI y en valores superiores la composición del gas deberá ser controlada en continuo por un analizador.

No se permitirán variaciones de PCI en el tiempo superiores a 1%/min., en valor absoluto.



### 3.2.2. Número de metano

El número de metano es un indicador de la detonabilidad/octanaje del gas. Este tipo de gases, al presentar altas concentraciones de CO<sub>2</sub> en su composición suelen proporcionar números de metano elevados.

### 3.2.3. Condiciones de suministro del gas

En cuanto a las condiciones de suministro del gas combustible, pueden establecerse los siguientes valores:

#### **Presión y temperatura de suministro de gas**

Los rangos admisibles de presión y temperatura del gas a la entrada del motor dependen del sistema de carburación empleado por el mismo por lo que deberán cumplirse los límites expuestos en las informaciones de producto creadas para tal efecto:

#### **Humedad del gas**

La humedad relativa del gas a la entrada de rampa gas deberá ser siempre inferior al 80% no permitiéndose en ningún caso condensaciones de agua sobre los elementos de motor. Por ello se recomienda introducir el gas al motor a una temperatura de, como mínimo 15°C superior a la temperatura de rocío del agua en el gas. En los gases de digestión anaeróbica se recomienda fijar la temperatura de rocío del gas en valores inferiores a los 283°K si se trabaja en el rango de temperaturas recomendado.

#### **Oxígeno en gas**

En caso de motores de carburación mecánica la máxima cantidad admisible de oxígeno (O<sub>2</sub>) en el gas es de 2% vol. Para valores superiores u oscilaciones superiores a ±1% respecto al punto de carburación deberán utilizarse motores de carburación electrónica donde la composición del gas deberá ser controlada en continuo por un analizador. Un valor de oxígeno en el gas superior al especificado es indicativo de que el proceso anaeróbico no se realiza convenientemente.

#### **Hidrógeno en gas**

La máxima cantidad de hidrógeno (H<sub>2</sub>) en el gas combustible permitida será de 12% vol. H<sub>2</sub>. Este tipo de gases no suele presentar grandes concentraciones de este componente.



### **Hidrocarburos superiores en gas**

La máxima cantidad permitida de hidrocarburos C<sub>4</sub>+ (butano y superiores) no debe sobrepasar el 1% del volumen total de la mezcla de gases. Este tipo de gases no suele presentar grandes concentraciones de estos componentes.

#### **3.2.4. Contaminantes del gas combustible**

Se especifican a continuación los límites máximos permitidos de contaminantes que pueden aparecer en el gas de digestión anaeróbica en motores. Los límites se encuentran referenciados al PCI del gas. No se permite superar dichos límites ni la presencia de ningún otro contaminante fuera de la siguiente relación:

#### **Compuestos de azufre como H<sub>2</sub>S**

El límite máximo de H<sub>2</sub>S equivalente\* permitido en los motores se fija en:

70 mg / MJ                      MOTORES SIN CATALIZADOR

\*: Para calcular el H<sub>2</sub>S equivalente en otros compuestos de azufre puede suponerse la masa de S presente en el compuesto de azufre como masa de H<sub>2</sub>S, considerando tanto compuestos orgánicos como inorgánicos.

Para el cálculo de la concentración del H<sub>2</sub>S en las unidades indicadas, (mg / MJ), es necesario conocer el PCI del gas en MJ / mn<sup>3</sup>. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Conc. (mg / MJ)} = \text{conc. (ppm)} \times 1,52 / \text{PCI (MJ / mn}^3\text{)}$$

$$\text{o bien } \text{Conc. (mg / MJ)} = \text{conc. (mg / mn}^3\text{)} / \text{PCI (MJ / mn}^3\text{)}$$

Ejemplo de cálculo:

Concentración medida de compuestos de azufre: 800 ppm

Para un gas de PCI 22 MJ / mn<sup>3</sup>, la concentración resultante en mg / MJ es:

$$\text{Conc. (mg / MJ)} = 800 \text{ (ppm)} \times 1,52 / 22 \text{ (MJ / mn}^3\text{)} = 55 < \text{límite}$$

Para un gas de PCI 14 MJ / mn<sup>3</sup>, la concentración resultante en mg / MJ es:

$$\text{Conc. (mg / MJ)} = 800 \text{ (ppm)} \times 1,52 / 14 \text{ (MJ / mn}^3\text{)} = 87 > \text{límite}$$

La experiencia en este punto dice, que en los gases procedentes de biometanizaciones no siempre se cumple el límite de H<sub>2</sub>S, y en muchos casos, el



H<sub>2</sub>S se encuentra en una cantidad muy elevada, lo que hace necesaria la instalación de un sistema de limpieza muy específico, esto encarece la instalación.

Es por este motivo, que el objetivo del proyecto sea tan ambicioso que lleva a desarrollar/implementar componentes críticos en los motores para alcanzar valores de H<sub>2</sub>S cinco veces superior al valor que marcan las especificaciones de combustible gas procedente de digestión anaeróbica.(biogás)

### **Compuestos halogenados (F, Cl, Br, I) como Cl-**

Los ácidos más perjudiciales son el HF y HCl, por lo que suele expresarse su concentración como mgr de Cl - equivalente /MJ considerando los demás componentes como si fueran cloro por la simple regla de:

Flúor = 2 Cloro      Bromo = 0,5 Cloro      Yodo = 0,25 Cloro

El nivel máximo permitido de Haluros expresados como cloruros equivalentes en los motores se fija en:

3,5 mg de Cl<sup>-</sup> equivalente\* / MJ      MOTORES SIN CATALIZADOR

\*: Deberán considerarse haluros orgánicos e inorgánicos.

Para el cálculo de la concentración de compuestos halogenados en las unidades indicadas, (mg / MJ), es necesario conocer el PCI del gas en MJ / mn<sup>3</sup>. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Conc. (mg / MJ)} = \text{conc. (ppm)} \times 1,63 / \text{PCI (MJ / mn}^3\text{)}$$

$$\text{o bien } \text{Conc. (mg / MJ)} = \text{conc. (mg / mn}^3\text{)} / \text{PCI (MJ / mn}^3\text{)}$$

### **Amoniaco (NH<sub>3</sub>)**

El límite máximo de amoniaco en el gas combustible usado en los motores queda fijado en:

1,5 mg / MJ

Para el cálculo de la concentración del NH<sub>3</sub> en las unidades indicadas, (mg / MJ), es necesario conocer el PCI del gas en MJ / m<sub>n</sub><sup>3</sup>. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Conc. (mg / MJ)} = \text{conc. (ppm)} \times 0,76 / \text{PCI (MJ / mn}^3\text{)}$$

$$\text{o bien } \text{Conc. (mg / MJ)} = \text{conc. (mg / m}_n^3\text{)} / \text{PCI (MJ / mn}^3\text{)}$$

### **Aceites residuales y alquitranes**

No se admiten condensados.



### **Partículas sólidas**

Límites en lo que se refiere a las partículas sólidas en el gas combustible:

Tamaño máximo permitido de partículas: 5 micras

Límite máximo de concentración de partículas entre 1 y 5 micras:

MOTORES SFGLD / FGLD: 0,3 mg / MJ

Para el cálculo de la concentración de las partículas en las unidades indicadas, (mg / MJ), es necesario conocer el PCI del gas en MJ / mn<sup>3</sup>. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Conc. (mg / MJ)} = \text{conc. (mg / mn}^3\text{)} / \text{PCI (MJ / mn}^3\text{)}$$



Tabla 2. Tabla resumen de especificaciones de gas procedente de digestión anaeróbica en motores

Fórmula	Parámetro	Valor límite	Motor aplicación	Comentarios
PCI	Poder calorífico inferior	23-30 MJ/mn <sup>3</sup>	Todos Biogás	Gas depuradora
		17-23 MJ/mn <sup>3</sup>	Todos Biogás	Gas vertedero
		14-17 MJ/mn <sup>3</sup>	SFGLD	Gas vertedero pobre
ΔPCI	Variación PCI	<±5%	Carburación mecánica	Reajustar carburación
		<±10%	Carburación electrónica	
		>±10%	Carburación electrónica	Necesario analizador gas continuo
∇PCI	Gradiente PCI	<1%PCI/min	Analizador continuo gas	
P y T	Presión y temperatura de suministro	IC-G-D-30-006	Carburación electrónica	TECJET 50
		IC-G-D-30-007	Carburación electrónica	TECJET 50+
		IC-G-D-30-008	Carburación mecánica	Regulador presión cero y tornillo
		IC-G-D-30-015	Carburación electrónica	ELEKTRA 50
φ	Humedad del gas	<80%	Todos Biogás	Sin condensaciones
WetDewT	Temp.. de rocío gas	>15° inferior Tgas	Todos Biogás	Recomendable
WetDewT	Temp.. de rocío gas	<283K	Todos Biogás	Recomendable
O <sub>2</sub>	Oxígeno en gas	<2% vol.	Carburación mecánica	Reajustar carburación. Problemas digestión anaeróbica
		<±1% ajuste carb.		
O <sub>2</sub>	Oxígeno en gas	>2% vol.	Carburación electrónica	Medidor metano continuo para ajuste automático de carburación.
		>±1% ajuste carb.		
H <sub>2</sub>	Hidrógeno en gas	<12% vol.	Todos Biogás	
C4+	Hidrocarburos	<2% vol.	Todos Biogás	
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfhídrico	<70 mg/MJ	Sin catalizador escape	Azufre total: H <sub>2</sub> S
Cl <sup>-</sup>	Cloro equivalente	<3,5 mg/MJ	Sin catalizador escape	F, Cl, Br, I orgánico e
Si	Silicio y siloxanos	<0,2 mg/MJ	Sin catalizador escape	Analizar: TMOH, TMS, L2,L3,L4,D3, D4,D5 Además <75ppm de Si en aceite motor
NH <sub>3</sub>	Amoniaco	<1,5 mg/MJ	Todos Biogás	
Tar	Aceites y alquitranes	No se admiten condensados	Todos Biogás	Vapores de aceites condensables
Dust	Partículas sólidas	<5 μm	Todos Biogás	No permitido tamaños mayores
		<0,3 mg/MJ (1-	Todos Biogás	



### **3.3 Escalabilidad del sistema**

Las instalaciones de motores con combustible gas procedente de digestión anaeróbica, se centran básicamente entre los 300 Kw y 1200Kw, por tanto la experiencia real en campo se halla en desarrollo y existen actualmente en algunos países como Alemania plantas de generación eléctrica con biogás agroindustrial, con lo que la escalabilidad del sistema no es aplicable en este proyecto.

### **3.4 Revisión de los sistemas**

Desde el punto de vista tecnológico la experiencia en este tipo de instalaciones es abundante, debido a que todos los motores de la gama, desde el más pequeño con una cilindrada de 18 litros dando 142kwe, hasta el más potente con una cilindrada de 56 litros dando 1,2 Mwe, están representadas en este tipo de instalaciones, donde normalmente las dimensiones de las mismas se limitan a potencias por debajo de 1Mwe, como consecuencia de que los promotores de las mismas habitualmente son particulares que pretenden valorizar algún residuo ya disponible.

La reducción de costes tanto iniciales como de operación tienen por tanto un peso específico muy importante en este tipo de instalaciones para determinar su viabilidad económica, y, por tanto, cualquier desarrollo tecnológico que permita reducir estos costes repercute en un posible incremento en el número de estas instalaciones.

Los objetivos principales dentro del proyecto PROBIOGAS se centran en la posibilidad de empleo de gases con menores requerimientos de limpieza lo que permitiría reducir notablemente los costes de la instalación. Se busca desarrollar un motor capaz de operar con gas procedente de biometanizaciones con alto contenido en compuestos ácidos sin penalizar los costes de mantenimiento del motor.

### **3.5 Rediseño de componentes críticos**

Se han rediseñado los componentes críticos del sistema de renovación de carga del motor de forma que puedan operar con gases de biometanización con cantidades mucho más elevadas de compuestos ácidos de las actualmente permitidas en motores de gas. Básicamente de H<sub>2</sub>S, por ser el componente más habitual en este tipo de gases.

Se está desarrollando la tecnología de componentes de motores capaces de operar con cantidades de hasta 5000ppm de H<sub>2</sub>S sin perjuicio de las pautas de mantenimiento de los componentes del motor que principalmente se ven afectados por la acidez de los gases.





Actualmente las especificaciones de todos los fabricantes de motores limitan las cantidades de H<sub>2</sub>S a valores del orden de centenas de ppm, se pretende alcanzar un orden de magnitud superior al límite actual.

Guascor es posiblemente el fabricante de motores que mayores cantidades de azufre permite actualmente (del orden de 800ppm de H<sub>2</sub>S, dependiendo de la composición del resto del gas) gracias a los desarrollos realizados hace algunos años en motores operando con gases de vertedero y depuradora, que permitieron disponer de intercoolers con materiales base y tratamientos de imprimación capaces de operar perfectamente con esta cantidad de azufre. Gracias a estos desarrollos, actualmente el elemento limitante no está ya localizado en las placas del intercambiador de aire o intercooler sino en el resto de componentes implicados en el proceso de renovación de la carga del motor. Más concretamente en uno de los órganos básicos del motor: la culata.

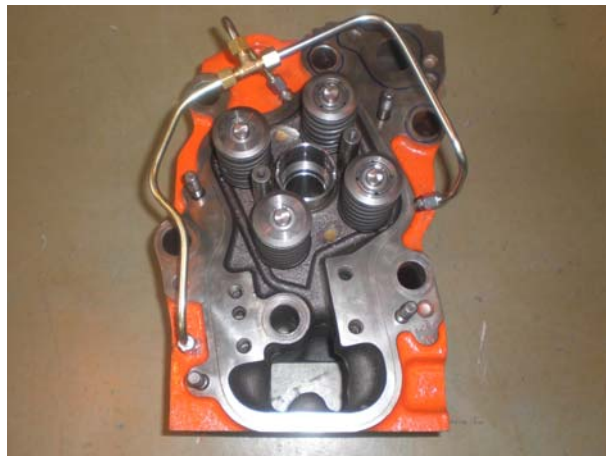
El primer paso para el rediseño de componentes críticos que se ha llevado a cabo ha sido la realización de un estudio preliminar de los componentes principales del motor involucrados en el proceso de renovación de la carga susceptibles de corrosión/abrasión/desgaste acelerado al emplear gases ácidos entre los cuales tendrán a priori, especial relevancia los componentes de la culata: válvulas, guías, asientos y el propio sistema de lubricación y refrigeración de la culata.

Los prototipos de culata desarrollados proponen las soluciones industrializables adecuadas para permitir la operación con este tipo de gases entre las cuales se encontrarán:

- Nuevos materiales de válvulas de escape más resistentes a la corrosión, manteniendo un buen coeficiente de rozamiento y una resistencia a la abrasión. Los nuevos materiales se aplicarán tanto a vástago como a cabeza de válvula (actualmente de dos materiales diferentes soldados entre sí)
- Nuevos recubrimientos en vástago de válvulas, centrados en las válvulas de escape que por la experiencia en instalaciones con gases fuera de especificación por elevado nivel de H<sub>2</sub>S son las que se ven atacadas con mayor celeridad
- Nuevos materiales sinterizados en guías de válvula de escape que permitan una mayor retención de aceite (más porosos) sin incrementar su desgaste.
- Revisión y rediseño de la culata completa (incluidas guías de escape, puentes empujadores, canalizaciones de aceite...) que permiten:

- Una mayor lubricación de las zonas críticas de modo que el mayor aporte de caudal de aceite permita neutralizar la acidez de los gases, sin que se vea incrementado el consumo de aceite de los motores.
- Una adecuada refrigeración de los componentes críticos evitando en la medida de lo posible un exceso de refrigeración que pudiera generar condensaciones de ácidos (sobre todo sulfúrico) sobre componentes metálicos

Se trata de buscar soluciones que impliquen cambios menores en el diseño base de forma que la solución obtenida se pueda implementar en motores que actualmente se encuentren en campo operando con culatas actuales estándar. Las modificaciones de diseño buscan minimizar el número de cambios sobre la fundición, centrándose sobre todo en los mecanizados posteriores. En caso de que ello no sea posible, se buscarán soluciones de dos tipos: “de compromiso” que permitan la realización de retrofits en campo y “optimizadas” para implementación directa en los nuevos motores.



*Figura 1. Prototipo de culata de lubricación forzada*

Se han generado las especificaciones necesarias para la fabricación de dichos prototipos.

En paralelo a las labores de rediseño de los componentes de las culatas se aborda la implementación en motor de dichas soluciones, completando las adaptaciones necesarias en los componentes que pudieran verse afectados por estas modificaciones: tapa de culata, conductos de lubricación, juntas...



### **3.5.1. Condiciones de operación, localización, protocolos de ensayos**

En el marco del proyecto PROBIOGAS, se han definido los protocolos de ensayo que permitirán comparar las diferentes soluciones diseñadas, validando las mismas. El protocolo de ensayos incluye instrucciones de montaje de los prototipos, pautas de revisión requerida, definición de los sistemas de registro de datos requeridos (incluyendo no sólo parámetros operativos del motor sino también la caracterización de los gases empleados como combustible durante los ensayos) así como instrucciones básicas ante posibles contingencias.

Se ha determinado la ubicación óptima en la que realizar los ensayos de validación. Inicialmente, con objeto de minimizar los costes del proyecto, se ha buscado realizar los ensayos de validación en campo sobre motores que ya se encuentren operando en campo realizando un retrofit de los componentes actuales por los nuevos conjuntos rediseñados, en lugar de fabricar motores nuevos que implementen el nuevo diseño. Mediante un estudio interno en Guascor para determinar las ubicaciones adecuadas (en España no existe este tipo de instalaciones) en las que realizar los ensayos de validación en campo de los nuevos componentes rediseñados, en función de los históricos de análisis de gases disponibles y de nuevos análisis, así como del histórico de mantenimiento de los motores hasta la fecha en las diferentes instalaciones, se ha llegado a la conclusión que la localización más idónea es EE UU, donde a principios del 2009 se han iniciado los ensayos de validación de componentes.

En la instalación elegida de EE UU se dispone actualmente de un elevado contenido de componentes ácidos en el gas de origen (previa limpieza), GUASCOR eliminará el sistema de limpieza empleado hasta la fecha de comienzo del ensayo, para reducir la cantidad de componentes ácidos, obteniendo de esta forma un gas de muy elevada cantidad de H<sub>2</sub>S.

### **3.5.2. Fabricación de prototipos**

Se han seleccionado los proveedores adecuados para fabricar tanto los componentes específicos, como de las adaptaciones que permiten su implementación en los motores actuales y se acopian los mismos.

Dado lo peculiar de algunos de los prototipos ya diseñados (sobre todo previsiblemente en lo que se refiere a recubrimientos) pocos son los proveedores capacitados para fabricar algunos de los prototipos. Se ha priorizado la capacidad de industrialización del proceso en la selección de proveedores.



### **3.5.3. Protocolo de ensayos**

Se monitorizará y analizará periódicamente la composición del gas de biometanización de entrada al motor a lo largo del ensayo de duración, así como el aceite tal y como marca el protocolo de ensayo.

La supervisión de todos los ensayos la realiza el personal de ingeniería de campo de Guascor I+D. Los análisis de los componentes ensayados durante la prueba se realizarán tanto interna como externamente en laboratorios especializados.

De especial importancia es el seguimiento de la evolución del estado del aceite del motor. Dada la acidez del gas de biometanización empleado en los ensayos la vida del aceite en el motor se ve minimizada por lo que resulta imprescindible un seguimiento continuado del estado del mismo. Así mismo es imprescindible realizar un apropiado seguimiento del consumo del mismo en el motor para verificar que los componentes rediseñados mantienen el consumo del motor en valores muy bajos.

### **3.5.4. Conclusiones**

El rediseño de los componentes críticos esta cumpliendo con las necesidades de dotar de más robustez a los motores de combustión interna frente a los problemas derivados de el uso de combustibles fuera de especificaciones (principalmente con alto contenido de H<sub>2</sub>S).

Aunque se debe esperar a las conclusiones definitivas, que vendrán de los ensayos descritos en el apartado de actividades en curso (2009) y dictaminarán la configuración adecuada de los componentes de motor testados.