

CAPÍTULO 4

BIOGÁS

4.1 Composición del biogás

Como producto de la digestión, el biogás es un combustible limpio y amigable con el medio ambiente, aunque contenga solamente cerca del 55 al 65% de CH₄. Otros componentes incluyen 30 a 40% de CO₂, de fracciones del vapor de agua, de trazas de H₂S y de H₂, y posiblemente de otros contaminantes (por ejemplo siloxanos).

Hay una gran necesidad de aumentar el contenido energético del biogás, haciéndolo transportable sobre distancias más grandes. En última instancia, la compresión y el uso de los cilindros de gas o su introducción en la red del gas. El enriquecimiento del biogás puede alcanzarse solamente después de quitar el CO₂ y los contaminantes. La composición típica del biogás de la digestión del lodo de aguas residuales y de rellenos sanitarios así como del gas natural se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Composición del biogás de diferentes fuentes y del gas natural (Persson y col., 2008)

Parámetro	Unidad	Gas de rellenos sanitarios	Biogás	Gas natural del Mar del Norte	Gas natural de Alemania
Poder calorífico	MJ/Nm ³	16	23	40	31.6
	KWh/Nm ³	4.4	6.5	11	8.8
	MJ/kg	12.3	20.2	47	38
Densidad	Kg/Nm ³	1.3	1.2	0.84	0.8
Número de metano		> 130	> 135	70	ND
Metano (variación)	%vol	45 (30-65)	63 (53-70)	87 (-)	81 (-)
Hidrocarburos	%vol	0	0	12	3.5
Hidrógeno	%vol	0-3	0	0	-
Monóxido de carbono	%vol	0	0	0	0
Dióxido de carbono (variación)	%vol	40 (15-50)	47 (30-50)	1.2 (-)	1 (-)
Nitrógeno (variación)	%vol	15 (5-40)	0.2 (-)	0.3 (-)	14 (-)
Oxígeno (variación)	%vol	1 (0-5)	0 (-)	0 (-)	0 (-)
Sulfuro de hidrógeno	ppm	<100 (0-500)	< 1000 (0-10 ⁴)	1.5 (1-2)	-
Amoniaco	ppm	5	<100	0	-
Total de cloro (Cl)	Mg/Nm ³	20-200	0-5	0	-

El valor calorífico del biogás es determinado por el contenido de CH₄. El valor calorífico superior alto es la energía generada cuando 1 Nm³ de biogás se quema y el vapor de

agua formado dentro de la combustión se condensa. El valor calorífico inferior omite la condensación del vapor.

El número de metano describe la resistencia del gas al golpeo cuando es usado en un motor de combustión. El metano tiene por definición un número de metano de 100 y el H₂ un número de metano de 0. El CO₂ aumenta el número del metano porque es un gas no combustible con una alta resistencia de golpeo. Una mejora en la calidad del biogás, por lo tanto, tiene un número de metano superior a 100.

El biogás contiene una variedad de compuestos de azufre, sobre todo sulfuros, aunque los rastros de disulfuros y de tioles están también presentes. Especialmente el azufre oxidado (sulfato y sulfito) que es corrosivo con la presencia de H₂O. El H₂S por sí mismo es reactivo con la mayoría de los metales y la reactividad se aumenta por la concentración y la presión, por la presencia de H₂O y una temperatura elevada.

Los compuestos halogenados están a menudo presentes en el biogás de rellenos sanitarios, pero raramente en el biogás de la digestión del lodo de aguas residuales. Un ejemplo son los siloxanos, que son compuestos volátiles de silicio que tienen estrecha relación con radicales orgánicos. La cantidad de silicio tiene que ser reducida a un mínimo, especialmente al usar motores.

Las altas concentraciones de amoníaco son un problema para los motores de gas, y normalmente 100 mg/Nm³ de NH₃ pueden ser aceptados. La combustión, sin embargo, lleva a la formación de NO_x.

Todas las plantas de biogás se deben equipar de una cierta clase de filtro para reducir la cantidad de partículas finas en el gas. Estos filtros, con un tamaño de 2 a 5 μm, no sólo quitan partículas, sino también reducen el contenido de gotas del agua o de espuma.

4.2 Limpieza del biogás

Las razones principales para purificar el biogás son principalmente la necesidad de satisfacer los requisitos de las aplicaciones del biogás (motores, calderas, pilas de combustible, vehículos, etc.); para aumentar el valor calorífico del biogás; y/o para estandarizar la calidad del biogás. La calidad requerida depende en gran medida del uso, como se muestra en la Tabla 4.2.

4.2.1 Remoción del dióxido de carbono

La eliminación del CO₂ aumenta el valor calorífico del biogás y lleva a una calidad consistente del biogás, similar al gas natural. Al usar técnicas de remoción del CO₂, es importante mantener bajas pérdidas del metano por razones económicas y ambientales puesto que el CH₄ es un gas de efecto invernadero 21 veces más que el CO₂ (Van de Velden y col., 2008).

Tabla 4.2 Componentes del biogás que requieren ser removidos en la purificación del biogás (Appels y col., 2008)

Aplicación	H ₂ S	CO ₂	H ₂ O	Rastro
Calentador	< 1000 ppm	No	No	Si (siloxanos)
CHP	< 1000 ppm	No	Evitar condensación	Si (siloxanos)
Combustible para vehículo	Si	Si	Si	Si
Red de distribución de gas	Si	Si	Si	Si

Hay diversos métodos de remoción, los más comunes que se realizan son la absorción o adsorción. La separación criogénica también es posible, pero costosa y la separación de membrana ha estado ganando terreno en las últimas investigaciones y aplicaciones (Degreve y col., 2001).

En los procesos de absorción, el CO₂ y el H₂S son simultáneamente removidos debido a la alta polaridad del CO₂ y el H₂S y la no polaridad del CH₄. El agua es el solvente más común para la purificación del biogás comprimido (4 a 7 bar). El diseño de un sistema de purificación con agua depende de la solubilidad del CO₂, pues la solubilidad es regida por la presión, la temperatura y el pH según se muestra en la Tabla 4.3, cuando la presión aumenta, la solubilidad del CO₂ en agua aumenta; pero disminuye cuando se incrementa la temperatura.

Tabla 4.3 Solubilidad aproximada de CO₂ en agua (Appels y col., 2008)

Presión (atm)	Solubilidad, en kg de CO ₂ por kg de agua a temperaturas diferentes			
	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C
1	0.40	0.25	0.15	0.10
20	3.15	2.15	1.30	0.90
50	7.70	6.95	6.00	4.80

Después de la purificación a presión, el CO₂ y el H₂S se envían inmediatamente a un tanque, donde se reduce la presión y la temperatura se aumenta. El H₂S, que se envía al aire puede crear un problema de contaminación. Algunos de los sulfuros acumulados en el agua pueden causar problemas de corrosión en la tubería, por lo tanto, es recomendable separar el H₂S. El aire o vacío se utiliza pocas veces para eliminar el H₂S por la introducción de O₂ en el sistema. Los resultados muestran que de 5 a 10 % de CO₂ permanece en el biogás.

Por supuesto, la absorción puede ser casi completa si las soluciones de Ca(OH)₂ se utilizan para quitar el CO₂ y H₂S, dando por resultado la formación de CaCO₃ insoluble y de CaS.

Los solventes orgánicos tales como polietilenglicol (Selexol^R, Genosorb^R) y las aminas (monoetanolamina, o dietanolamina) se pueden utilizar para disolver el CO₂ y H₂S, que son más solubles que el CH₄ en estos líquidos, y se utiliza una baja presión para este

procedimiento. El producto químico necesita ser regenerado con vapor. Solamente pequeñas cantidades de CH_4 son removidas. Reducciones del CO_2 de 0.5 a 1% de volumen en el biogás pueden ser posibles. Las unidades de remoción con solventes orgánicos son, sin embargo, más costosas que las que usan el agua como solvente, y tienen que descargarse periódicamente, y ser sustituidos.

La remoción del CO_2 es posible por la adsorción en sólidos tales como carbón activado o tamices moleculares. La selectividad se alcanza con diversos tamaños del sólido. La adsorción es generalmente realizada a temperaturas y presiones altas. La adsorción es un proceso simple en diseño y fácil de operar, pero es costoso por el uso de presiones altas y altos requerimientos de calor. La desorción es realizada por la despresurización o utilizando un leve vacío. El proceso necesita biogás seco, por lo tanto la necesidad de quitar el vapor de agua mediante un tratamiento previo.

La separación criogénica puede ser utilizada puesto que el CH_4 tiene un punto de ebullición de $-160\text{ }^\circ\text{C}$ a 1 atmósfera, mientras que el CO_2 tiene un punto de ebullición de $78\text{ }^\circ\text{C}$ bajo cero. El CO_2 se puede quitar como líquido enfriando la mezcla del biogás a presión elevada. Hasta ahora, este método costoso se ha probado solamente en instalaciones modelo en Europa y en los EEUA. Se produce más del 97% del CH_4 puro. La inversión y los costos operacionales son altos y limitan su uso actual (Deublein y Steinhauer, 2008).

La separación de membrana ha ganado gran interés (Rautenbach y Dahm, 1987; Li y Teo, 1993; Stern y col., 1998; Degreve y col., 2001; Lastella y col., 2002; Harasimowicz y col., 2007). Algunos componentes del biogás crudo se pueden transportar a través de una fina membrana mientras que se conservan otros. El transporte de cada componente es conducido por la diferencia en la presión parcial sobre la membrana y es altamente dependiente de la permeabilidad del componente en el material de la membrana (Toshima, 1992; Degreve y col., 2001). Para una alta pureza del metano, la permeabilidad debe ser alta. Membranas sólidas construidas de polímero de acetato-celulosa tienen permeabilidades para el CO_2 y H_2S arriba de 20 y 60 veces el valor para el CH_4 . Sin embargo, las altas presiones (arriba de 25 bar) se requieren para el proceso. Aunque el flujo del gas a través de la membrana aumenta proporcionalmente con la diferencia de la presión, así se reduce el tamaño de la membrana, hay una presión máxima que la membrana puede soportar. Puesto que un poco de CH_4 pasa a través de la membrana, pérdidas de metano pueden ocurrir. Si la infiltración se utilizar en unidades CHP (combinado con el gas crudo), estas pérdidas de CH_4 pueden ser recuperadas.

Las técnicas adicionales están bajo investigación tal como la conversión química de reacciones catalizadoras para CO_2 e H_2 a CH_4 (Glub y Diaz, 1991). Este proceso es extremadamente costoso y la necesidad de H_2 hace el proceso generalmente inadecuado. El enriquecimiento "in-situ" de CH_4 está bajo desarrollo (Persson y col., 2008). El lodo del compartimiento de la digestión es contrario a la corriente de aire que entra en contacto. El dióxido de carbono que es disuelto en el lodo se reabsorbe. El poco CO_2 presente en el lodo, se lleva de nuevo al compartimiento de la digestión donde más dióxido de carbono puede ahora disolverse en el lodo, dando por resultado un enriquecimiento de CH_4 en el compartimiento. Los resultados de las pruebas de laboratorio a escala en Suecia indican que es técnicamente posible construir un sistema que aumente el contenido del metano del biogás hasta el 95% y mantenga las pérdidas del metano debajo del 2% (Persson y col., 2008).

4.2.2 Remoción del agua

El biogás se encuentra saturado con vapor de agua cuando se extrae del digestor. El secado es generalmente necesario o recomendado. La refrigeración o el diseño sensible de la tubería de trabajo es un método común para condensar el agua. Para alcanzar puntos de condensación más altos, el biogás puede ser comprimido antes de enfriarlo. La adsorción con el gel de sílica o Al_2O_3 es aplicado cuando se necesitan alcanzar puntos de condensación muy bajos. Un método alternativo de secar el biogás puede ser la absorción en glicol o en sales higroscópicas, que pueden ser recuperadas a temperaturas elevadas.

4.2.3 Remoción de H_2S

Se debe recordar que el acondicionamiento apropiado del lodo puede limitar el contenido de H_2S presente en el biogás (Dewil y col., 2008). La adición de sales de Fe^{3+} al lodo puede producir sulfuros insolubles y reducir el H_2S libre en el biogás a valores menores de 150 ppm (dependiendo de la cantidad de Fe^{3+} agregado). Un exceso de sales de Fe^{3+} agregadas puede sin embargo inhibir la formación de biogás. El H_2S puede también ser adsorbido con carbón activado (Hagen y Polman, 2001). El carbón activado actúa como un catalizador para convertir el H_2S en azufre elemental. La impregnación con yoduro de potasio (KI) es necesario para la remoción. Los microorganismos, pertenecientes a la familia de *Thiobacillus*, pueden ser utilizados para reducir el nivel de sulfuros en el biogás, oxidándolos principalmente a azufre elemental y a algunos sulfatos. Estas bacterias están comúnmente presentes en el material de la digestión y así no tienen que ser inoculados. Además, la mayor parte de ellas son autotróficas, que significa que utilizan el dióxido de carbono del biogás como fuente de carbono. El oxígeno necesita ser adicionado al biogás para la desulfurización biológica y el nivel necesario depende de la concentración de sulfuro de hidrógeno, generalmente alrededor de 2 a 6% de volumen de aire en el biogás.

El método más simple para la desulfurización es agregar oxígeno o el aire directamente en la cámara de digestión. Con este método, el nivel de H_2S se puede reducir por arriba del 95 % a niveles menores de 50 ppm, sin embargo depende de la temperatura, lugar y cantidad de aire agregado y del tiempo de reacción. Al agregar el aire en el biogás, son necesarias implementar medidas de seguridad para evitar una dosis excesiva de aire en caso de una falla de bombeo. El metano es explosivo en el rango de 5 a 15% en aire. La desulfurización biológica puede también ocurrir en un biofiltro separado, llenado con cuerpos plásticos en los cuales los microorganismos de desulfuración se adhieren. Antes de que el biogás se incorpore a la unidad, se agrega del 5 al 10% de volumen de aire. El nivel de H_2S se puede reducir de 3,000 a 5,000 ppm hasta 50 a 100 ppm. El amoníaco es separado al mismo tiempo (Kapdi y col., 2005).

El H_2S se puede también reducir por la reacción con el NaOH para formar Na_2S y NaHS, ambas sales insolubles.

4.2.4 Remoción de trazas de gases

Fue mencionado en párrafos anteriores que los siloxanos pueden estar presentes en el biogás. La presencia de siloxanos en el biogás da lugar a algunos problemas con respecto a su valorización térmica (Dewil y col., 2006). Estos compuestos que contienen silicio son ampliamente utilizados en varios procesos industriales (por ejemplo para

sustituir solventes orgánicos) y se agregan con frecuencia a productos de consumo (por ejemplo detergentes, productos de cuidado personal, etc.).

Una cantidad significativa de siloxanos se encuentran en las aguas residuales y no se descomponen en una planta de tratamiento de aguas residuales convencional de lodos activados. Aunque una gran parte se volatiliza a la atmósfera durante el tratamiento, una cantidad significativa se fija por adsorción a los flocúlos del lodo. Durante la digestión del lodo, los siloxanos se remueven del lodo y se volatilizan debido a la digestión del material orgánico y a la temperatura elevada en el digestor. Las concentraciones del siloxano encontradas típicamente en el biogás están entre 30 y 50 mg/m³ con picos de hasta 400 mg/m³ en algunas PTAR (Dewil y col., 2006). Solamente los siloxanos volátiles son detectados en el biogás. Schweigkofler y Niessner (2001) divulgaron que solo dos siloxanos cíclicos, es decir octametilciclotetrasiloxano (D4) y decametilciclopentasiloxano (D5), son detectados en cantidades significativas en el biogás.

Durante la combustión del biogás, estos siloxanos son convertidos en una dura y abrasiva sustancia microcristalina de silicio que cubren gradualmente el equipo que se utiliza para el aprovechamiento del biogás. La capa ocasiona serios daños al motor por la abrasión de las superficies del motor de biogás, que se manifiesta en un recalentamiento de las piezas sensibles del motor (aisladores térmicos) y por baja de la función de las bujías. La capa cristalina por otra parte se acumula en el aceite lubricante y en las superficies de las cubiertas de la turbina. Para el biogás de Trecatti (Reino Unido), la presencia por arriba de hasta 400 mg/m³ de siloxanos volátiles llevó a un fallo mecánico importante dentro de las 200 h de operación del motogenerador (Griffin, 2004). El problema por otra parte se evita por el uso de motores eficientes de encendido por chispa que son de rápido funcionamiento, operan a altas temperaturas y usan biogás solamente. Previamente los motores duales de combustible (baja temperatura, con el aceite combustible para ayudar a la ignición) fueron menos propensos a los depósitos de silicio. La ilustración del silicio que ensucia los pistones de un motor se muestra en Figura 4.1.



Figura 4.1. Contaminación de los pistones de un motor por silicio (Appels y col., 2008)

Aunque sea difícil medir la concentración de siloxanos en el lodo y en el biogás, una prueba reciente de métodos analíticos revelaron que la extracción por cromatografía de gases fue un método adecuado (Dewil y col., 2007).

El método mas frecuentemente usado para quitar los siloxanos es la adsorción por carbón activado. Puesto que el biogás contiene un rango amplio de compuestos (H₂S, siloxanos, materia orgánica) con concentraciones que cubren algunos órdenes de magnitud, una adsorción competitiva de los siloxanos y una variedad de rastros de compuestos que

deben ser considerados para llevar a una capacidad de absorción larga necesaria, para remover los compuestos de silicio cuando se usan materiales adsorbentes en el pretratamiento del biogás (Schweigkofler y Niessner, 2001). Los sitios activos del adsorbente capturarán el vapor de agua y otros agentes contaminantes, que disminuyen la vida del adsorbente. Por otra parte las camas del adsorbente tienen que ser substituidas regularmente porque los siloxanos son difíciles de reabsorber del material. En Trecatti (Reino Unido) por ejemplo, un cambio semanal del carbón activado es necesario, con un tiempo muerto de un día en el adsorbente y un costo de casi €2,000 por cambio.

Otros adsorbentes posibles son tamices moleculares y de polímero. Schweigkofler y Niessner (2001) hicieron un estudio comparativo de los materiales de la adsorción usando los granos de polímero, el gel de silicio y el carbón activado, que todos exhibieron capacidades grandes de adsorción para el siloxano D5. Especialmente el gel de silicio parecía ser prometedor y un candidato altamente rentable, puesto que este puede ser utilizado simultáneamente para la deshidratación del biogás.

La absorción en solventes orgánicos no volátiles también han sido divulgados en aerosol y columnas llenas (por ejemplo con anillos Raschig). Una desventaja importante de este método de tratamiento del biogás es el hecho de que la eliminación completa del siloxano es difícil de obtener, puesto que los siloxanos altamente volátiles son fácilmente desmantelados del solvente en elevadas tasas de flujo de biogás. Este problema no se presenta si los siloxanos se absorben químicamente, es decir, se convierten a compuestos de volatilidad baja (Schweigkofler y Niessner, 2001).

La condensación criogénica de los siloxanos del biogás es factible, pero es una alternativa costosa. Cuando la temperatura del biogás disminuye, se forma un condensado que contiene parte de los siloxanos que están presentes. Schweigkofler y Niessner (2001) estudiaron la eficiencia de la remoción cuando el biogás es enfriado a 5 °C, alcanzando hasta el 88% de las concentraciones de siloxano iniciales que estaban todavía presentes en el lodo y en el biogás del digestor. Hagmann y col. (1999) divulgaron una eficiencia de la purificación para una gama de siloxanos volátiles de 25.9 % cuando se enfrió a -25 °C, y de 99.3% al congelar a -70 °C.

Un método final divulgado para quitar los siloxanos del biogás es el abatimiento químico. Sin embargo, se requiere de valores altos o bajos de pH y/o temperaturas altas (Huppmann y col., 1996). Las eficiencias de la remoción de estos métodos son, sin embargo, algo bajas.

Recientemente, Appels y col. (Appels y col., 2008) divulgaron el potencial de remoción de los siloxanos a partir de la fase del lodo usando un tratamiento peroxidativo.

4.3 Compresión y almacenamiento del biogás

La compresión del biogás reduce los requerimientos de almacenaje, concentra el contenido de energía y aumenta la presión a niveles que superan las caídas de presión en técnicas subsecuentes o tuberías. Aunque se hayan publicado varios estudios (Biswas y col., 1977; Wellinger y Lindeberg, 1999; Mande, 2000; Nema y Bhuchner, 2002), todavía no hay un uso en gran escala. Generalmente las opciones del almacenamiento del biogás, se resumen en la Tabla 4.4 (Wallis y col., 1989).

Tabla 4.4. Opciones más comunes de almacenamiento del biogás (Wallis y col., 1989)

Presión	Recurso de Almacenamiento	Material
Baja (0.14-0.41bar)	Mantener el biogás confinado	Acero
Baja	Recolección de biogás	Caucho, vinil, plástico
Media (1.05-1.97bar)	Tanque para gas propano y butano	Acero
Alta (200bar)	Cilindros de gas comercial	Aleación

4.4 Calor y electricidad

El biogás es un combustible excelente para una gran cantidad de usos y se puede en última instancia también utilizar como materia base para la producción de productos químicos. El biogás puede ser utilizado en la mayoría de los usos que se han desarrollado para el gas natural. Hay cuatro maneras básicas de utilización del biogás, producción de calor y vapor, electricidad generación/co-generación, uso como combustible de vehículos, y posiblemente en la producción de productos químicos. Estos usos son gobernados por las estructuras nacionales como el sistema fiscal, los subsidios, los certificados verdes de energía y las tarifas crecientes de la electricidad.

Por todo el mundo, el biogás se utiliza principalmente en aplicaciones combinadas de calor y energía (CHP), mientras que varios países de la Unión Europea han emprendido programas para utilizar una porción cada vez mayor del biogás en el sector del transporte, especialmente atractivo debido al constante aumento del costo de combustibles fósiles. Los diferentes caminos de su utilización se muestran en la Figura 4.2.

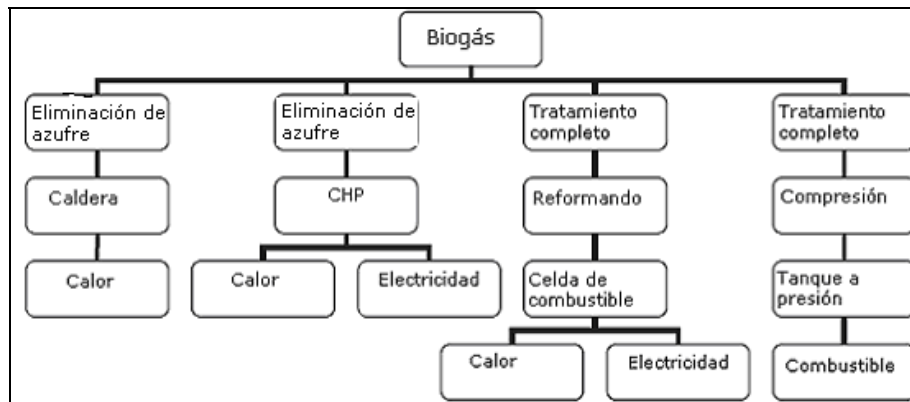


Figura 4.2 Utilización del biogás y requerimientos actualizados (Appels y col., 2008)

Los quemadores de gas convencionales se pueden ajustar fácilmente al biogás, cambiando la razón estequiométrica aire-biogás. El quemado del biogás es una tecnología establecida y confiable, con demandas bajas en la calidad del biogás. La presión generalmente tiene que estar entre 8 y 25 mbar. Se recomienda para reducir los niveles de H₂S debajo de 1,000 ppm para mantener el punto de condensación en aproximadamente 150 °C.

El biogás es también el combustible ideal para los usos de unidades CHP. Aunque las turbinas de gas podrían ser utilizadas (las micro-turbinas de 25 a 100 kW y las turbinas grandes de >100 kW) con emisiones bajas, eficiencias comparables a los motores de encendido por chispa y mantenimiento bajo, las inversiones son grandes. Sobre todo los motores de combustión interna son usados en aplicaciones CHP, como en los motores de encendido por chispa o motores duales de combustible. Los motores duales de combustible, con inyección de diesel ($\geq 10\%$) son, aunque mucho menos económicos, muy populares en escalas más pequeñas, con una buena eficiencia de energía (hasta 40 %). Tienen altas emisiones, a menos que se utilice un tratamiento del gas de combustión, pero permite un arranque fácil usando el diesel solamente.

Las pilas de combustible son consideradas para llegar a convertirse en pequeñas centrales eléctricas del futuro, teniendo el potencial para alcanzar eficiencias muy altas (>60%) y emisiones bajas. El interés especial para el biogás se centra en las pilas de combustible de altas temperaturas (>800 °C) donde el CO₂ no inhibe el proceso electroquímico, y también sirve como portador térmico. La pila de combustible de óxido son útiles para pequeños usos de algunos kW, o las pilas de combustible fundidas de carbonato (arriba de 250 kW y más) pueden ser consideradas.

Los vehículos de gas pueden utilizar biogás como combustible, aumentando la calidad del biogás puede ser posible su uso en los mismos vehículos que utilizan el gas natural. El número de estaciones de servicio de biogás y de gas natural todavía es escaso en Europa y en otras partes del mundo, aunque la situación está mejorando enormemente con el número de las estaciones de bombeo multiplicándose durante los últimos años: A finales de 2005 había 1,600 estaciones de bombeo en Europa. Para finales de 2006, Alemania tenía 1,000 estaciones en funcionamiento, Suiza 100 y Austria más de 50.

La inyección del biogás en las redes de gas natural es posible, y varios países de la Unión Europea han propuesto los estándares para inyectar biogás mejorado en la red para evitar la contaminación de la misma. Estos estándares de Suecia, Suiza, Alemania y Francia, fijaron límites para el azufre, oxígeno, partículas y punto de condensación. El mejoramiento de los métodos debe permitir que el biogás tratado haga frente a estos estándares rigurosos de calidad. Este mejoramiento y costo asociado compensan los precios crecientes de los combustibles fósiles.

4.5 Unidades CHP

Considerando el aprovechamiento del biogás para la generación de energía eléctrica, se hace necesario establecer los requerimientos de dicha energía que demande. De esto dependerá el tipo de motogenerador, la capacidad, y la cantidad de los mismos, con el que se complementará el sistema de biogás. Las capacidades de generación de energía eléctrica, para distintos tipos de motogeneradores, se pueden observar en la Tabla 4.5. Las plantas de generación eléctrica que usan biogás como combustible son actualmente equipadas con sistemas de sincronía y gracias a estos sistemas las plantas pueden tener un mayor uso y aprovechamiento. La sincronía entre plantas consiste en emparejar dos o más plantas hasta 22 equipos y básicamente es lograr por medio de los equipos de sincronía que los motogeneradores sigan o alcancen los valores de velocidad angular, frecuencia, voltaje y ángulo de fase por medio del censo de cada una de las variables mencionadas para cada uno de los equipos y todos referenciados a su vez con el primer motor o al que se decida mediante la programación.

Tabla 4.5 Capacidades de generación eléctrica (Madisa, 2009)

Capacidad del motogenerador (kW)	Capacidad estimada de generación eléctrica (concentraciones de metano al 50%) kW/h
60	48.43
50	35.47
40	30.52
30	24.38
25	17.09
15	11.47

La sincronía con la Comisión Federal de Electricidad consiste básicamente en sincronizar la frecuencia, voltaje y ángulo de fase de los equipos previamente emparalelados con los valores de la CFE.

La sincronía o emparalelamiento entre varias máquinas nos permite sumar sus potencias eléctricas y poder dar servicio a instalaciones, granjas o ranchos mas grandes donde los requerimientos sean mayores a 60 kW y hasta 1100 kW. En la Figura 4.3 se muestra un ejemplo del emparalelamiento.

A su vez el emparalelamiento puede usarse de la manera más conveniente para el usuario. En el caso de la sincronía con la CFE se puede subir potencia eléctrica a la red de CFE o se puede trabajar por repartición de cargas teniendo así la opción del rasurado de picos y el ahorro por consumo normal debido a que los motogeneradores a biogás serían los de mayor uso (Mopesa, 2009).

Además de estos beneficios los equipos de sincronía tienen otras funciones importantes como la de controlar un mayor número de variables tales como:

- Generación de potencia eléctrica en kW, kVA
- Historial de la generación de potencia eléctrica
- Ultima falla presentada
- Historial de los últimos eventos



Figura 4.3 Sincronía entre varios motogeneradores (Mopesa, 2009)