



Por Dr. Joaquín Reina, Director Técnico de Energy&Waste SL.

## DEL BIOGÁS AL GAS NATURAL:

### TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMETANO (I)

#### Introducción

*Los continentes y países dependientes de las energías fósiles, como Europa y, dentro de esta, España, miran cada vez más y con mayor interés las energías renovables y apuestan por el desarrollo de las mismas como fuente de su futuro desarrollo. El biogás procedente de diferentes orígenes constituye una valiosa materia para la producción de energía, productos químicos y biocombustibles. Por tal motivo, el biogás, y su transformación en biometano, se presenta como la principal opción de ser el sustituto del gas natural (GN) a día de hoy.*

El origen del biogás se encuentra en la descomposición anaeróbica (putrefacción) de la materia orgánica. Una característica de este gas es su elevado contenido en metano ( $\text{CH}_4$ ), que le da su propiedad como combustible. La concentración del metano en el biogás se encuentra en un amplio rango de valores, que oscila generalmente entre 30 a 80 %, y que depende en gran medida de su método de producción y tipos de materias involucradas.

En este sentido, el aprovechamiento del biogás como combustible o materia prima para la producción de otros productos es la mejor opción, e implica un beneficio para el medio ambiente, no solo porque se evita la emisión del gas metano ( $\text{CH}_4$ ) a la atmósfera, sino porque, además, se reduce la emisión de otros gases causantes del efecto invernadero que resultarían, por ejemplo, de la combustión de combustibles fósiles.

Como fuente de energía renovable, el biogás es una fuente inagotable, limpia y que se puede utilizar de forma autogestionada. Es una de las energías renovables más accesible, dada la facilidad de su obtención. Asimismo, su uso genera una menor contaminación ambiental y constituye una alternativa viable al agotamiento de energías fósiles, como el gas natural y el petróleo, donde, además, se viene observando un incremento de los precios durante los últimos años.

## CONCEPTOS BÁSICOS

La definición de biogás se debe ver desde dos puntos de vista.

1. **Proceso (origen).** Es el gas procedente del proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica, que se caracteriza por su alto porcentaje en CH<sub>4</sub>. Su contenido en metano (CH<sub>4</sub>) se encuentra en un amplio rango de valores, y depende en gran medida de su método de producción y tipos de materias involucradas. Es la definición más común en su sector, principalmente de aquellos que estudian los sistemas de digestión anaerobia con vistas a maximizar tanto la producción de biogás como la concentración en metano (CH<sub>4</sub>) en el mismo.
2. **Técnico.** Es un gas multicomponente, tanto en su composición básica (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, vapor de agua, etc.), como en sus componentes perjudiciales (NH<sub>3</sub>, siloxanos, hidrocarburos [F y Cl], H<sub>2</sub>S, espumas, partículas, sedimentos, etc.). Este gas constituye una mezcla de gases. A partir de esta última definición se infiere que, para su aplicación y uso como biocombustible, se requiere eliminar de él todos los componentes perjudiciales. Claro está que el grado de eliminación/limpieza dependerá de su futura aplicación.

TABLA 1.

| Gases                   | Residuos agrícolas<br>Agriculture waste<br>(%) | Lodos de depuradoras<br>WWTP Sludge<br>(%) | Residuos industriales<br>Industrial waste<br>(%) | Vestideros, RSU<br>MSW Landfills<br>(%) | Efecto<br>Effect        |
|-------------------------|--|--|--|---|-------------------------|
| Metano/Methane          | 50-80  | 50-80                                      | 50-70  | 45-65                                   | Combustible             |
| CO <sub>2</sub>         | 30-50  | 20-50                                      | 30-50  | 34-55                                   | Inerte/Inert            |
| Vap H <sub>2</sub> O    | Saturación/<br>Saturation                      | Saturación/<br>Saturation                  | Saturación/<br>Saturation                        | Saturación/<br>Saturation               | Perjudicial/<br>Harmful |
| H <sub>2</sub>          | 0-2  | 0-5  | 0-2  | 0-1                                     | Combustible             |
| H <sub>2</sub> S        | 100-7000 ppm                                   | 0-1  | 0-8  | 0,5-3000 ppm                            | Corrosivo/<br>Corrosive |
| NH <sub>3</sub>         | 50-100 mg/m <sup>3</sup>                       | Trazas/Traces                              | Trazas/Traces                                    | Trazas/Traces                           | Corrosivo/<br>Corrosive |
| CO                      | 0-1  | 0-1  | 0-1  | Trazas/Traces                           | Combustible             |
| N <sub>2</sub>          | 0-1  | 0-3  | 0-1  | 0-20                                    | Inerte/Inert            |
| O <sub>2</sub>          | 0-1  | 0-1  | 0-1  | 0-20                                    | Corrosivo/<br>Corrosive |
| Siloxanos/<br>Siloxanes | NR   | 0-100 mg/m <sup>3</sup>                    | NR   | 0-50 mg/m <sup>3</sup>                  | Abrasivo/<br>Abrasive   |
| HCH                     | NR   | Trazas/Traces                              | NR   | 10-4000 mg/m <sup>3</sup>               | Perjudicial/<br>Harmful |

NR: No reportados / Not reported  
HCH: Hidrocarburos pesados y halógenos (Cl, F, Br) / Heavy hydrocarbons and halogenated compounds (Cl, F, Br)

## Tipos de biogás

Actualmente podemos hablar de dos tipos básicos de biogás de acuerdo a su procedencia.

1) De sistema de digestión natural (no controlados), por ejemplo, de vertederos: caracterizado por la presencia básica de: siloxanos ↑, hidrocarburos halogenados y pesados ↑, humedad, ↑ y a veces H<sub>2</sub>S, etc.

2) De sistema de digestión controlada (biodigestores). Por medio de diferentes tipos de reactores (mezcla completa, de flujo en pistón, lechos fluidizados, etc.) y de procesos psicrófilos (por debajo de 25 °C), mesófilos (entre 25 y 45 °C) y termófilos (entre 45 y 65 °C). Seco o húmedo en dependencia de la cantidad de sólidos. En este último caso, en dependencia del sustrato/materia a tratar, podemos encontrar:

- *Biogás de aguas residuales* (EDAR), caracterizado por la presencia básica de (siloxano, H<sub>2</sub>S) ↑, humedad ↑, NH<sub>3</sub>, espumas y partículas, etc. Es uno de los más complejos.
- *Biogás FORSU*. Cuando el sustrato lo constituye la fracción orgánica proceden de los residuos sólidos urbanos (RSU). Caracterizados por la presencia de (H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>) ↑, humedad, etc.
- *Biogás agroindustrial- ganadero*. Cuando se digieren subproductos y residuos de los sectores agrícolas, ganaderos y porcinos. de (H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>) ↑, humedad, etc.
- *Biogás de la industria alimenticia*. Residuos cárnicos, subproducto de la industria cervecera, lechera, etc. de (H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>) ↑, humedad, etc.

La Tabla 1 muestra la composición típica del biogás de acuerdo con su procedencia, es decir, sistema controlado o no controlado (vertederos) y del tipo de materia a tratar.

Como se aprecia en ella, el biogás procedente de los procesos controlados presenta mayor porcentaje en metano (CH<sub>4</sub>). En estos casos, por lo general, se encuentra en un valor promedio por encima del 60 %, menor contenido en CO<sub>2</sub> y, a su vez, menor porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) y nitrógeno (N<sub>2</sub>), lo que lo hace más apropiado para la producción de biometano que el biogás procedente de sistemas no controlados, es decir, vertederos, debido a que es difícil su eliminación, y, por tanto, eleva los costes de equipamiento y operación.

La Tabla 2 muestra la composición típica del gas natural (GN), del biogás y del biometano.

TABLA 2.

| Componentes                                   | Gas natural<br>Natural gas (%) | Biogás<br>Biogas (%)     | Biometano<br>Biomethane (%) |
|---|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| CH <sub>4</sub>                               | 86-93                          | 50-75                    | 89-98                       |
| CO <sub>2</sub>                               | 9,5-13                         | 25-50                    | 0,5-2                       |
| Propano/ <i>Propane</i>                       | 0,4                            | 0                        | 0                           |
| Butano/ <i>Butane</i>                         | 0,09                           | 0                        | 0                           |
| H <sub>2</sub> S                              | 0                              | 0-5000 ppm               | 0                           |
| NH <sub>3</sub>                               | 0                              | 0-500 ppm                | 0                           |
| VH <sub>2</sub> O                             | 0                              | 0,1-5                    | 0                           |
| Partículas inertes/<br><i>Inert particles</i> | 0                              | >5 µm                    | 0,1                         |
| N <sub>2</sub>                                | 0,68                           | 0-14                     | 0,5                         |
| Siloxanos/<br>Siloxanes                       | 0                              | 0-100 mg/m               | 0                           |
| HCH   | 0                              | 0-4000 mg/m <sup>3</sup> | 0                           |

## DESARROLLO

### Tecnologías para la producción del biometano

Actualmente existen seis tecnologías que compiten en el mercado de producción de biometano a partir del biogás, aunque se debe de señalar que la absorción en agua y la absorción química hasta el momento son las más aplicadas, y que la tecnología basada en membrana comienza a ganar terreno por sus nuevos desarrollos.

1. *Absorción química*. Reactivo selectivo y operación a baja presión.
2. *Lavado con agua*. Alta presión y baja temperatura. Dentro de ella se encuentran:
  - Con regeneración del agua.
  - Sin regeneración del agua
3. *Lavado con solvente orgánico*. Alta presión y baja temperatura.
4. *Técnicas de adsorción*. Tamiz molecular (tamaño de moléculas).
  - Presión oscilatoria (PSA). La más usual.
  - Temperatura oscilatoria (TSA).
  - Electricidad oscilatoria. (ESA).
5. *Separación criogénica*. Conocimiento del punto triple y diferencia en punto de ebullición de los componentes. Destilación en frío.
6. *Separación por membranas*. Permeabilidad de las membranas y diferencia de permeación de las moléculas.

## Absorción química

Se fundamenta en una reacción ácido-base, lo que hace que el reactivo sea selectivo, pues solo elimina los gases ácidos con el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S presentes en el biogás. Uno de los reactivos más usados son las aminas y, dentro de ellas, la monoethanol amina cuando se trabaja a bajas presión y temperatura.

El proceso se realiza a bajas presiones: 100 mbar son suficiente para el desarrollo del proceso. Al trabajar a bajas presiones, minimiza la pérdida de metano (CH<sub>4</sub>) por solubilidad y, a la vez, reduce los costes de equipamiento y de operación.

El proceso involucra las operaciones de absorción química para producir el biometano por eliminación, principalmente del CO<sub>2</sub> contenido en el biogás, y la regeneración del solvente por desorción del CO<sub>2</sub> de la corriente de lavado vía destilación, lo que permite, por un lado, la recuperación de la amina y, por otro lado, la recuperación del CO<sub>2</sub>.

Para el desarrollo de la operación de destilación se requiere el consumo de calor, su principal desventaja en cuanto el consumo de energía. Este calor puede proceder tanto del biogás crudo como del biometano producido, así como de una fuente de calor residual externa. Esta última opción reduce significativamente los costes de esta operación.

La carga de CO<sub>2</sub> absorbida por la amina se encuentra en un rango comprendido entre 0.18 a 0.22 kg CO<sub>2</sub>/ Kg amina.

### Lavado con agua

Es un proceso físico que se fundamenta en la diferencia de las solubilidades del CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> en el agua. La solubilidad de estos gases aumenta con el aumento de la presión y con la disminución de la temperatura. Este proceso consta de dos etapas básicas: una de absorción para la eliminación del CO<sub>2</sub>, para así producir el biometano, y otra, en el caso de reutilización del agua usada, de desorción del CO<sub>2</sub> por despresurización de la corriente líquida. Una de las características de este proceso es su coste de operación por el consumo de energía eléctrica y los volúmenes de agua que involucra, así como las pérdidas de CH<sub>4</sub> que se producen. Por lo general este proceso trabaja a presiones cercana a los 8 bares y temperatura de próxima a los 15 °C en muchos casos.

### Lavado con solvente orgánico

Este proceso es similar al lavado con agua, es decir, también implica una absorción puramente física. Sin embargo, en contraste con el lavado con agua a presión, se usa como absorbente un solvente orgánico (por ejemplo, mezclas de poliglicol). El Selexol y Genosorb son los nombres comerciales de los productos químicos usados para este fin. La principal diferencia con el agua es que el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno son mucho más solubles en disolventes orgánicos que en el agua y, por tanto, una planta más pequeña se

puede construir para la misma capacidad de tratamiento. En este proceso también se separan el agua y los hidrocarburos halogenados, que pueden estar presentes.

El gas bruto se comprime antes de entrar a la columna de absorción, para elevar el nivel de presión a aprox. 8 bares; pero antes de su entrada a proceso se enfría para condensar el vapor de agua. A diferencia del lavado con agua y con aminas (absorción química), el biometano o gas producto sale de este proceso relativamente seco, debido al carácter higroscópico del solvente, por lo que, si es necesario, solo se requiera una etapa de secado posterior. Al igual que en el lavado con agua, la recuperación del solvente se realiza por desorción a través de una despresurización rápida. La desorción completa tiene lugar a través del suministro de calor (aproximadamente 50-80 °C), y para ello requiere el suministro aire. En este proceso el flujo de gas de escape (aire contaminado) también contiene cantidades residuales de CH<sub>4</sub> y, por lo tanto, al igual que el lavado con agua, usualmente necesita un post-tratamiento del gas de escape.

### **Técnicas de adsorción**

La separación del CO<sub>2</sub> del biogás se puede realizar también por adsorción sobre carbón activo o tamices moleculares.

Este proceso se fundamenta en la diferencia de tamaño de moléculas de los componentes del biogás. La adsorción se refiere al proceso en el que una especie específica queda atrapada dentro de una materia porosa. El material poroso, diseñado con cierta porosidad, atrapa ciertas moléculas de un tamaño deseado, dejando pasar otras moléculas sin ningún impedimento.

El proceso involucra las operaciones de adsorción y desorción secuencial para producir el biometano. En la operación de adsorción queda retenido principalmente el CO<sub>2</sub>, lo que enriquece al biogás en metano (CH<sub>4</sub>), produciéndose de esta forma el biometano; para ello se requiere el aumento de la presión de la corriente del biogás. Una vez cumplimentada dicha etapa, se inicia la desorción del CO<sub>2</sub> retenido en los poros del adsorbente, para lo cual se requiere la producción del vacío correspondiente. Generalmente se suelen usar como adsorbentes carbones activados, zeolitas o tamices moleculares de carbono.

Este proceso es cíclico, es decir, mientras unos tamices están en la etapa de adsorción, otros se encuentran en la etapa de desorción. De esta forma el proceso se hace en cierta medida continuo. En este proceso hay inicialmente un aumento de presión hasta un nivel comprendido entre 4 a 7 bar. Una de las ventajas de este proceso es que, a su vez, elimina el oxígeno (O<sub>2</sub>), el nitrógeno (N<sub>2</sub>) y otros componentes con menor tamaño de molécula que el metano (CH<sub>4</sub>) que pueden estar presente en la corriente de biogás.

## Separación criogénica

Es un proceso de destilación en frío, que requiere el conocimiento del punto triple y de las temperaturas de ebullición de los diferentes componentes de la mezcla de gases. Este proceso demanda, por tanto, temperaturas criogénicas cercana a los  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$  y presión próxima a los 80 bares. Debido a los diferentes puntos de licuefacción de los componentes del biogás relacionado con la presión y la temperatura, se puede separar el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CH}_4$ , obteniéndose de esta forma el biometano ( $\text{CH}_4$ ). Esto se logra por medio de la compresión y el enfriamiento del biogás crudo hasta la licuefacción del  $\text{CO}_2$ .

Unas de las ventajas de este proceso es que se puede obtener tanto  $\text{CO}_2$  como biometano líquido, lo cual facilita su transporte y comercialización y, a su vez, alta pureza de ambos componentes.

Entre sus principales desventajas se encuentran el elevado consumo de energía y la gran cantidad de equipos que interviene en dicho proceso.

## Separación por membranas

La separación por membranas se fundamenta en el hecho de que diferentes moléculas de diferentes tamaños tienen permeabilidad diferente a través de membranas poliméricas, donde se disuelven y difunden. Otros factores importantes para la separación son la diferencia de presión entre los dos lados de la membrana y la temperatura del gas. La fuerza motriz de esta operación es, por tanto, el gradiente de presión aplicado sobre la membrana por compresión del biogás entrante.

Esta separación puede ser en fase gaseosa, a ambos lados de la membrana, o una absorción gas-líquido, lo que significa que un líquido absorbe el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que se difunde a través de la membrana.

Las membranas con fases gaseosas en ambos lados se denominan membranas secas. Las membranas pueden trabajar a altas presiones  $> 20\text{ bar}$  (membranas secas) o a bajas presiones 8-10 bar (membranas húmedas).

Los polímeros utilizados para las membranas incluyen, entre otros, acetato de celulosa o poliamidas aromáticas. Estos materiales exhiben altos niveles de permeabilidad para  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$  en comparación con su permeabilidad para  $\text{CH}_4$ . Por ello, se utilizan membranas especialmente diseñadas para el tratamiento del biogás, compuestas por material sintético de alto rendimiento con base de poliamida. Estas se caracterizan por una elevada permeabilidad al gas y una mayor selectividad.

## COMPARATIVA ENTRE TECNOLOGÍAS

TABLA 4.

|   |                                      | PSA       | Pressurised water scrubbing (PWS) | Physical absorption with organic solvents | Chemical absorption with organic solvents | Membrane processes | Cryogenic separation |
|---|--------------------------------------|-----------|-----------------------------------|---|---|--------------------|----------------------|
| Electricity requirement   | [kWh/m <sub>5</sub> <sup>3</sup> BG] | 0,20-0,25 | 0,20-0,30                         | 0,23-0,33                                 | 0,06-0,15                                 | 0,18-0,25          | 0,18-0,33            |
| Heat requirement  | [kWh/m <sub>5</sub> <sup>3</sup> BG] | 0         | 0                                 | ~0,3                                      | 0,5-0,8                                   | 0                  | 0                    |
| Temperature pressure  | [°C]                                 | -         | -                                 | 55-80                                     | 110-160                                   | -                  | -                    |
| Methane loss  | [%]                                  | 4-7       | 5-10                              | 4-7                                       | 0,1-4                                     | 5-10               |                      |
| After treatment of exhaust gas necessary? (legislation: EEG & GasNZV) |                                      | Yes       | Yes                               | Yes                                       | No  | Yes                | Yes                  |
| Fine desulphurisation of the raw gas necessary?                       |                                      | No        | Yes                               | No  | Yes                                       | No                 | No                   |
| Chemicals requirement   |                                      | No        | No                                | Yes                                       | Yes                                       | No                 | No                   |

La Tabla 4 muestra una comparativa entre las tecnologías para la producción de biometano en cuanto a diferentes requerimientos y características de los procesos involucrados. Independientemente que algunas tecnologías pueden tratar el biogás crudo sin un tratamiento previo, la practica ha demostrado que una limpieza adecuada del biogás, con el fin de eliminar humedad, siloxanos, hidrocarburos y sulfuro de hidrogeno, antes de entra a proceso mejora el trabajo de las tecnologías, evita problemas de operación e influye en la mejora de la eficacia de la misma.

De forma general, la tendencia del coste de inversión es muy similar a otras plantas de procesos químicos, donde el coste tiende a disminuir con el aumento de la capacidad de tratamiento.

Por otro lado, los costes de tratamiento (producción de biometano) se mueven en un rango comprendido entre 15-20 €/MWh biometano en planta con una capacidad de tratamiento comprendida entre 500-1000 Nm<sup>3</sup>/h de biogás.

*Artículo adaptado de la revista Industria Química*