



El proyecto agroBiomet y la absorción de CO₂ mediante aminas

El proyecto agroBiomet pretende conseguir biogás depurado y enriquecido en metano (biometano) para emplearlo como biocarburante en vehículos. Uno de los aspectos más relevantes es la depuración y concentración del biogás para extraer sus elementos contaminantes. Este artículo se centra en una de las tecnologías empleadas para esa depuración.

Varios autores*

A principios de 2011 arrancaba el proyecto agroBiomet, con una duración de cuatro años y un objetivo: la demostración de un sistema sostenible de producción y uso de biometano en vehículos a partir de residuos ganaderos y biomásas alternativas. Los cuatro socios implicados –Ainia Centro Tecnológico, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), Grupo Hera y Granja San Ramón (coordinadora del proyecto), trabajan con el convencimiento de que el biogás agroindustrial utilizado como biocarburante para vehículos es una solución innovadora y de proyección

en el mercado energético español. Como ya sucede en países como Suecia, Holanda, Alemania, Suiza o Austria. El proyecto incorpora elementos innovadores, entre ellos el uso de biomásas alternativas como las algas, paja de cereal o cultivos energéticos cuyo potencial está probablemente subestimado en nuestro país. Los resultados tienen un enorme potencial tanto en España como en otros países europeos y del resto del mundo, en especial en Sudamérica.

Entre los principales objetivos específicos del proyecto se encuentra la identificación, cuantificación y selección de biomásas alternativas a emplear como co-sustratos para la co-digestión con deyecciones ganaderas, el diseño básico de una planta de biogás de demostración del proceso agroBiomet y determinación de las condiciones de contorno en las cuales el sistema es aplicable, así como la validación experimental del sistema diseñado a escala piloto de demostración.

Uno de los as-

pectos claves es la purificación del biogás para alcanzar calidad de biometano. Debido a que algunos de los componentes presentes en el biogás son contaminantes –CO₂, agua, sulfuro de hidrógeno (H₂S), etc.–, resulta necesario introducir tecnologías que los reduzcan suficientemente para hacer posible un uso adaptado al sistema de aprovechamiento. Para utilizarlo en vehículos es preciso reducir el CO₂ a valores casi nulos e incrementar así el poder calorífico del biogás, pudiendo ser utilizado en vehículos. En este caso se habla de biometano o biogás altamente purificado, cuya composición en metano suele superar el 95% y cuenta también con una muy baja concentración de compuestos contaminantes.

Existen diversas tecnologías de depuración del biometano, tales como el lavado con agua, el lavado químico con aminas o sistema de absorción con aminas, el sistema de adsorción de CO₂ por variación de presión, la separación por membranas o la separación criogénica.

■ Un sistema con ventajas

El sistema de absorción con aminas presenta algunas ventajas respecto a otros sistemas, como el bajo consumo de energía eléctrica por metro cúbico de biogás purificado, la alta riqueza en metano (CH₄) en el biometano obtenido, la posibilidad de operar el proceso de separación de CO₂ a presión atmosférica y/o las pérdidas casi nulas de CH₄. Por ello, así como por su idoneidad para el uso final del biometano en vehículos, en el proyecto agroBiomet se ha optado por la implementación y el estu-



Distintas imágenes del sistema de purificación de la planta de demostración del proyecto agroBiomet. Este es el área de limpieza y purificación del biogás.

dio de este sistema.

Los sistemas de absorción de CO₂ mediante aminas son ya una tecnología madura que, sin embargo, continúa desarrollándose. Entre los nuevos diseños de proceso se encuentra el uso de columnas dobles de absorción, una de las cuales se presuriza con el objetivo de incrementar la solubilidad del CO₂ en el disolvente. Esta modificación permite incrementar así la separación de gases.

En el caso del biogás agroindustrial, el H₂S es el contaminante más importante que afecta a los sistemas de absorción con aminas. Por ello, resulta necesario eliminarlo casi por completo, ya que si no se elimina en fases anteriores al proceso de absorción de CO₂, se requieren posteriormente mayores temperaturas para regenerar la amina utilizada. En general, en los procesos de purificación de gases, se incluye una fase previa de desulfuración (eliminación del H₂S), una fase donde se realiza la captura del CO₂ (separación del CO₂ contenido en el biogás) y una fase posterior de secado del biometano obtenido para eliminar el vapor de agua. La fase de eliminación del CO₂ se desarrolla a partir de la aplicación de un proceso de absorción en el cual se produce una absorción física de los componentes no deseados del gas tratado (principalmente CO₂, en el caso del biogás) en un líquido o disolvente compuesto por aminas. Dichos componentes reaccionan con las sustancias químicas de los disolventes. Posteriormente, durante la desorción o regeneración, se recupera tanto el disolvente (solución de aminas) como el CO₂.

■ Costes económicos

Los costes de limpieza y purificación del biogás a calidad de biometano se derivan de la inversión inicial y de los costes de operación y mantenimiento. Habitualmente la parte más costosa del tratamiento es la eliminación del CO₂. Entre los factores que más influyen sobre dicha inversión y costes de operación, expertos como Harsek (2012) destacan los siguientes:

- ✓ El tamaño de la planta de purificación (conforme mayor es el tamaño de planta de purificación, menor es el coste por metro cúbico de biometano).
- ✓ La composición del biogás (conforme más contaminantes, mayores son los costes de depuración).
- ✓ Los requerimientos locales o regionales del gas de salida, biometano (conforme los requerimientos sean más exigentes en cuanto a poder calorífico, concentración de contaminantes u otros, mayores son los costes).



Área de regeneración de la amina. La columna horizontal es la torre de destilación de la amina.

- ✓ Los requerimientos del gas residual, tratamientos requeridos o límites de emisiones (conforme los requerimientos sean más exigentes, mayores costes).
- ✓ La tecnología de pretratamiento para la desulfuración.
- ✓ La tecnología seleccionada para la eliminación del CO₂.
- ✓ La tecnología seleccionada para la generación de calor y frío industrial.
- ✓ La presión de suministro del biometano producido.
- ✓ La odorización del biometano.
- ✓ La tubería de biometano.
- ✓ La estación de suministro de biometano.

Los costes de los sistemas de absorción de CO₂ mediante aminas se encuentran en el rango de costes de explotación de otras tecnologías de depuración disponibles a escala industrial en el mercado. No obstante, será necesario analizar para cada proyecto en cuestión si compensa o no realizar la inversión en el sistema de absorción mediante aminas, teniendo en cuenta las ventajas aportadas por el sistema, así como la inversión inicial, los costes de operación



y/o los costes de mantenimiento. De forma orientativa, en la siguiente tabla se incluyen costes aproximados de inversión y operación. Es importante destacar la importancia de la escalabilidad, ya que conforme aumenta el tamaño de la planta (caudal de tratamiento), tanto los costes de inversión por metro cúbico de biogás y hora, como los costes de operación, se redu-

1. Ventajas y desventajas del sistema de captura de CO₂ mediante aminas

VENTAJAS

Alta eficiencia en la recuperación y concentración de CH₄ (→ 99% CH₄)

Bajo consumo de energía eléctrica por metro cúbico de biogás purificado para proceso.

Eliminación completa de H₂S

Posibilidad de operar a presión atmosférica

Proceso regenerativo de la amina.

Pérdidas de CH₄ casi nulas (≈ 0,1%)

DESVENTAJAS

Necesidad de *inputs* químicos adicionales.

Alta demanda de calor para la etapa de proceso de regeneración de la amina.

Necesidad de tratar residuos químicos al final de proceso.

Requiere tamaño de planta medio-grande para que sea viable la inversión.

Riesgo de degradación por oxidación de la amina si no se eliminan previamente las impurezas (H₂S y otros contaminantes).

Corrosión, precipitación de sales y posible formación de espumas.

Fuente: elaboración propia a partir de Ryckebosch, 2011.



El área de suministro, con el sistema de compresión y la estación de suministro.



cen sensiblemente. En la Tabla 2 pueden verse desglosados los costes de inversión y explotación.

■ Experiencia real en el proyecto agroBiomet

El proyecto se encuentra actualmente en su tercera anualidad, y hasta el momento se han seleccionado y evaluado distintas biomásas alternativas para la producción de biogás, habiéndose determinado su potencial de biometanización y formulado mezclas de codigestión de estas biomásas con residuos ganaderos. Las biomásas alternativas identificadas y evaluadas incluyen al-

gas, cultivos energéticos no alimentarios y residuos de cosecha. Durante este tercer año el proyecto pone el foco en la planta de purificación del biogás a calidad de biometano a partir del sistema de absorción de CO₂ mediante aminas.

La instalación de purificación del Grupo Hera está instalada junto a la planta de biogás de la Granja San Ramón, en Requena (Valencia), en el interior de dos grandes contenedores marítimos. Ambas instalaciones están comunicadas por una tubería de biogás, instalada especialmente para el desarrollo de proyecto. En uno de los contenedores de la planta de purificación se localizan los equipos para la limpieza y purificación del biogás, mientras que en el otro se encuentran los equipos para la regeneración de la amina. Por otra parte, fuera de los contenedores se encuentra la estación de suministro de biometano, ubicada en una caseta de hormigón, que dispone de un surtidor para la recarga de vehículos.

- Las principales etapas del proceso son:
- ✓ Presurización del biogás a 350 mbar para superar las pérdidas de carga del proceso.
 - ✓ Enfriamiento del biogás.
 - ✓ Eliminación del H₂S del biogás en filtros carbón activo (en este caso concreto, debido al bajo contenido en H₂S en el biogás de partida se optó por un proceso de adsorción en carbón activo).
 - ✓ Eliminación del CO₂ mediante el lavado químico con aminas (proceso de absorción).
 - ✓ Enfriamiento del biogás purificado.
 - ✓ Eliminación de H₂O del biogás purificado (proceso de adsorción).
 - ✓ Regeneración de la amina (proceso de desorción).
 - ✓ Etapa de compresión, almacenamiento y suministro del biometano obtenido a 250 bar para uso en vehículos.

■ Consumos y productos de la planta

En cuanto a consumos energéticos, cabe destacar el bajo consumo eléctrico, en torno a 0,1-0,12 kWh/Nm³ de biogás tratado, debido a que con la tecnología de lavado con aminas se puede trabajar a presión atmosférica. Respecto a la etapa de desorción del CO₂, se requiere calor para poder recuperar la amina y reutilizarla de nuevo cíclicamente en el proceso de absorción. Para cubrir dicha demanda, es posible aprovechar el calor disipado en los motores de cogeneración; además, como medida para asegurar el suministro de calor en caso de mantenimiento de los motores de cogeneración o de falta de suministro del posible calor disponible in situ, se puede instalar una caldera de biogás, que consumiría un 5-10% de biogás adicional respecto al caudal nominal de entrada de la planta de purificación. Por otra parte, el proceso de regeneración también tiene un excedente de calor que puede ser utilizado para calefactar los digestores. En el caso particular del proyecto agroBiomet, para el calor requerido en la etapa de regeneración de la amina, se ha optado por instalar una caldera de biogás, que consume un bajo porcentaje del biogás producido por la planta de la Granja San Ramón.

El biometano que se obtiene es de una gran pureza, con una concentración en metano en torno a un 99%, apto para su uso en vehículos, que es la alternativa evaluada en el marco del proyecto agroBiomet. En el caso del CO₂, el sistema permite obtener también un CO₂ de alta pureza, en torno al 98%. Los contaminantes como el H₂S o el oxígeno, reducen su presencia hasta valores prácticamente nulos.

El proyecto agroBiomet ha sido cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO). Programa INNPACTO IPT-440000-2010-14.



2. Costes de inversión y explotación de una planta de 250 Nm³/h (Urban, 2008)

INVERSIÓN (€)	847.400
PLANTA	807.000
CONSTRUCCIÓN	40.400

COSTES ANUALES (€)	206.900
OPERACIÓN	119.600
ELECTRICIDAD	45.000
CALOR	47.700
REACTIVOS	5.500
PERSONAL	6.400
MANTENIMIENTO	15.000
COSTES DE AMORTIZACIÓN	87.300

COSTES ANUALES ESPECÍFICOS	
BIOGÁS TRATADO (Nm ³ /h)	250
C€/Nm ³ BIOGÁS EN BRUTO	10,35
C€/Nm ³ CH ₄	19,52
C€/KWH CH ₄	1,96
BIOMETANO PRODUCIDO (NM ₃ /H)	136
C€/Nm ³ BIOMETANO	19,02
C€/NM ₃ CH ₄	19,54
C€/KWH CH ₄	1,96

Costes de una planta de depuración de 250 Nm³ biogás en bruto/h, con un contenido en metano en torno al 60%, según resultados del estudio de mercado realizado por Fraunhofer Institute (2008).

* Paz Gómez, Begoña Ruiz (Ainia Centro Tecnológico)
Boi Roig, Susana Muñoz, Miquel Torrente (Grupo Hera)
Nely Carreras, Jose Manuel Peña Castellot (Ciemat)