

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Primeros resultados de la MPB

Funcionamiento en un escenario real
de la Mini Planta de Biogás de AGF





Autor Principal: Fernando Selva Guillén (AGF)

Otros autores: Francisco Guzmán Guzmán (AGF); Javier Cuenca Torres (AGF).

Contenido

TÍTULO.....	2
Palabras claves.....	2
Resumen.....	2
Introducción.....	2
El problema de los residuos.....	3
Cadena de valor. La Gestión del residuo.....	4
Objetivos de diseño de la MPB.....	6
Diseño de la MPB. Características de la MPB.....	10
Metodología.....	14
Resultados.....	18
Discusión.....	22
Evaluación de resultados.....	22
Ejemplo productor industrial.....	24
Ejemplo Ayuntamiento.....	26
Conclusiones.....	27
Bibliografía.....	27

TÍTULO.

Primeros resultados de la MPB

PALABRAS CLAVES.

Residuos

Biogás

FORSU

MPB

Biometano

Gestión deslocalizada

AGF

RESUMEN.

Existe un amplio margen de mejora en la gestión descentralizada de residuos. En ese contexto surge la Mini Planta de Biogás (MPB) propuesta por AGF PROCESOS BIOGÁS SL. El primer modelo a escala real de la MPB realizó una serie de pruebas de operación real que incluyó una logística adaptada de los residuos recogidos “puerta a puerta”. Se establecieron unos objetivos de diseño que implicaban el escalado inverso de la tecnología de AGF PROCESOS BIOGÁS SL aplicada en el sector del biogás industrial, que fueron sometidos a examen durante la experiencia de gestión real con la MPB. Los resultados cumplieron las expectativas generadas. Se produjo biogás de manera estable, que se empleó para la producción de agua caliente en una caldera. También se produjo biometano mediante una planta de separación de gases diseñada para el rango de funcionamiento de la MPB. Se comprobó el gran potencial que existe para este tipo planta de biogás a pequeña escala, gracias a que gran cantidad de residuos orgánicos están lejos de su gestión óptima. Se detectaron escenarios, tanto a nivel municipal como a nivel empresa, donde con la MPB se daría una correcta gestión de residuos, produciendo energía renovable y reduciendo el impacto ambiental que actualmente generan.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad existe un relativo control de los residuos que se generan en la actividad humana. En el contexto normativo en el que España se encuentra, dentro de un marco legal europeo que intenta dar protección al medio ambiente, casi cualquier actividad productiva que implique la generación de una serie de residuos debe de contemplar su gestión. “El que contamina paga” es el principio rector de los residuos industriales generados que estén clasificados dentro las legislaciones ambientales.

De una forma similar ocurre con los Residuos Sólidos Urbanos. Después de unas décadas de una fuerte inversión pública en la mejora, modernización y construcción de vertederos, de la implantación de logísticas de recogida segregada de los RSU, al ciudadano se le cobra una serie de impuestos y se le “exige” que separe sus residuos domésticos en casa.

Sobre el papel este sistema puede funcionar relativamente bien para grandes cantidades de residuos. Pero todo sistema de gestión es susceptible de mejora. Cuando bajamos en la escala de producción de residuos se descubren una serie de aspectos a mejorar donde poner el foco.

Cuando se analizan pequeños productores de residuos, tanto domésticos como industriales, es cuando se pueden ver que otros modelos de gestión pueden ser posibles. Si estos modelos se enmarcan en el concepto de economía circular, donde se puedan cerrar ciclos de los elementos que conformen la materia del residuo, se pueda generar energía durante el proceso y se pueda recuperar la humedad contenida en los residuos, es ahí donde una planta de biogás puede tener un papel protagonista.

La tecnología para la producción de gas renovable de AGF PROCESOS BIOGAS SL ha sido empleada a nivel industrial. El reto era el escalado inverso de la misma para dar solución al problema de las pequeñas cantidades deslocalizadas de residuos. Acercar la solución al problema, cumpliendo criterios de rentabilidad, técnicos y medioambientales. Esta es la razón de la construcción de la primera MPB a tamaños real y las pruebas llevadas a cabo.

El problema de los residuos.

A día de hoy, en según qué circunstancias, hay residuos que pueden mejorar su gestión. Hay que tener en cuenta:

- La grave contaminación del aire y del subsuelo que generan miles de pequeñas fuentes de residuos orgánicos, cuyo volumen unitario no justifica grandes inversiones, como es una planta industrial de biogás.
- El gasto y la contaminación que supone la gestión y transporte de esos residuos desde su origen a centros de transformación y finalmente a vertederos.
- El coste que ello supone para el generador de residuos, sea el pequeño industrial o el ciudadano a través de las tasas municipales que debe soportar.
- El derroche energético que supone el no aprovechamiento de esa inmensa fuente de energía.

El gestionar residuos orgánicos con una planta de biogás es una de las soluciones más eficientes. Se cierran ciclos, se pueden recuperar nutrientes, agua y se genera energía. El biogás se puede convertir en energía siendo auto consumida, o bien se puede concentrar la molécula de metano por encima del 90% para la producción de biometano, siendo un vector energético que se puede trasladar desde su punto de origen, la planta de biogás, a otro punto de consumo distinto. Este tipo de gestión de residuos hacen que aparezcan nuevas oportunidades de negocio, sumando este beneficio al beneficio medioambiental.

El desarrollo de plantas industriales de biogás se ve limitado por muchos factores que dificultan el desarrollo de estos proyectos y los limitan a aquellos casos donde se cumplen una serie de requisitos técnicos y económicos. La economía de escala juega un papel decisivo, haciendo más

rentable los proyectos más grandes, que son los más complicados de ejecutar por el suministro de materia prima y la financiación.

A su vez, hay mucho pequeño productor de residuo orgánico en España al que el coste de gestión le sale muy caro o que ni siquiera puede gestionarlo y tiene que ir a vertedero junto con los residuos urbanos. Muchas industrias, incluidas aquéllas de producciones estacionales, generan pequeñas cantidades de residuos cuyo coste logístico encarece o imposibilita la gestión, mientras que la cantidad total disponible no justifica un proyecto industrial de biogás. Suelen ser las empresas pequeñas y aisladas las que tienen una mayor dificultad para gestionar sus residuos correctamente y soportan frecuentemente una energía más cara, por lo que son éstas las que pueden conseguir una mayor ventaja económica con un proyecto de biogás diferente y escalado a sus necesidades.

Incluso en países en vías de desarrollo, sin el corpus legislativo ambiental europeo, la falta de gestión de los residuos orgánicos deriva con frecuencia en un incremento de problemas sanitarios y sociales, por lo que la gestión de estos residuos excede una componente económica o energética.

A nivel nacional, además de las industrias productoras de pequeñas cantidades de residuos orgánicos, la principal fuente de residuo orgánico disperso y sin tratamiento suele ser la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos, la FORSU. Su gestión en el mejor de los casos no pasa de una recogida selectiva y un compostaje, siendo el envío a vertedero la solución más extendida, lo que no supone una gestión óptima.

Cadena de valor. La Gestión del residuo.

Todo residuo orgánico, y principalmente el residuo alimentario comestible que tiene un alto grado de humedad, puede entrar en un proceso de economía circular siguiendo las siguientes etapas por orden de preferencia jerárquica.

1. Reducir su producción. Es aconsejable reducir la cantidad de residuo generado en los casos que sea posible.
2. Uso alimentario preferente. En caso de que se puedan utilizar para alimentar personas o animales deben ser empleados para estos usos prioritariamente.
3. Proceso anaerobio. Producción de biogás/energía. Aquellos residuos que no puedan ser empleados en el caso 2 deben ser utilizados preferentemente para la producción de biogás. Este proceso convertirá la materia prima de nuevo en compuestos inocuos elementales siguiendo los procesos naturales de cierre de ciclo de la naturaleza. Además de cerrar el ciclo del carbono generará un combustible como el metano con versatilidad de uso en distintas aplicaciones. El proceso anaerobio es el óptimo para residuos con humedad, ya que convierte la fracción sólida en gas, haciendo una eliminación efectiva de la materia sólida y produciendo un líquido que contiene toda la humedad del material de entrada. En este caso la humedad no se pierde y se genera como un subproducto de la planta que puede tener distintos usos. En zonas desérticas, el proceso de producción de biogás es un proceso que también recupera agua de una forma utilizable.
4. Compostaje. En aquellos casos donde no se puedan llevar a cabo el caso 2 o el 3, lo

conveniente es emplear el residuo orgánico para compost. El compost es un proceso de mineralización, que transforma el carbono orgánico en inorgánico cerrando el ciclo del carbono produciendo CO₂ y evaporando la humedad presente en el material. Este proceso no permite el uso energético de la materia, genera un sólido mineralizado y se pierde la recuperación de agua. Aún así es la mejor solución en caso de que no sea posible un tratamiento previo.

5. Vertedero. Es la última alternativa. Únicamente en aquellos casos donde no sea posible ninguna otra alternativa previa, ya sea por una cuestión económica, geográfica o social, entre otras.

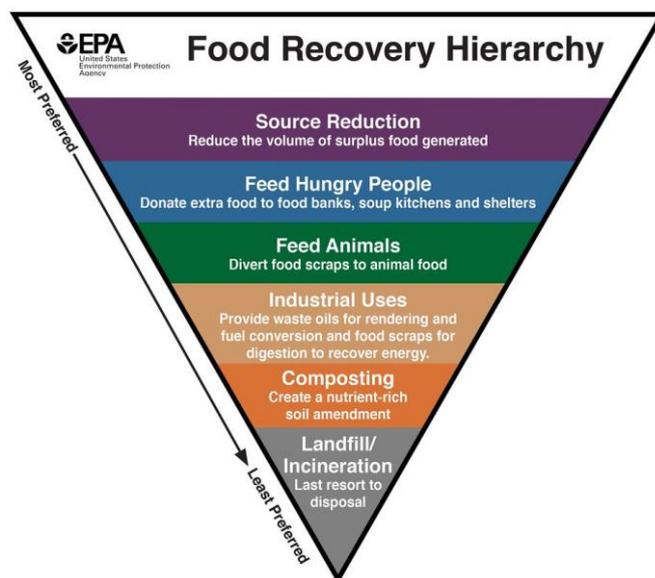


Figura 1. Jerarquía de recuperación de alimentos. (U.S. Environmental Protection Agency¹)

Se desecha su uso como combustible directo de estos residuos por el elevado grado de humedad que presentan. La combustión ha de reservarse a residuos o materiales lignocelulósicos o muy secos, y la producción de biogás es la mejor opción de gestión y energética para aquellos materiales con alto grado de humedad.

Por lo tanto, puede concluirse que la gran mayoría de los residuos orgánicos se producen de forma dispersa, por lo que para darles un buen tratamiento es necesario descentralizar la gestión, huyendo del cajón de sastre del vertedero, tan negativo ambientalmente, y dejando a los procesos de compostaje a aquellos lugares donde no sean rentable o posible la producción energética del gas.

Para hacer posible una gestión más amplia de los residuos con recuperación energética, AGF PROCESOS BIOGAS SL ha desarrollado un modelo de Mini Planta de Biogás, la MPB.

¹ <https://www.epa.gov/>

Objetivos de diseño de la MPB.

Después de valorar lo disponible en el mercado y de estudiar distintos casos de estudio y de negocio, se fijan los siguientes objetivos de diseño. Estos objetivos buscan desarrollar un modelo de planta que supla todas las carencias de las plantas actuales previamente contempladas.

1. **Aplicar un proceso de alta eficiencia industrial a una planta de pequeña escala.** Conseguir producciones relativas de biogás superiores a $5 \text{ Nm}^3\text{bm}^{-3}\text{R}\cdot\text{d}^{-1}$.

Se diseña la planta para poder desarrollar procesos de alta eficiencia y mayor complejidad que permitan que la producción de gas por unidad de volumen sea similar a la alcanzada a escala industrial por AGF PROCESOS BIOAGS SL. Esto permite que la cantidad de material procesada en la planta y el gas generado sean muy superiores a sus equivalentes con el mismo volumen de reacción.

Este aspecto es fundamental para conseguir rentabilizar la planta. Para ello, será fundamental el control de la operación de la planta, tratándola como si de una planta industrial se tratase.

2. **Estabilidad de producción.**

Realizar un diseño de ingeniería robusto y fiable, que genere una producción de biogás estable. A nivel operativo esto debe traducirse en una planta con funcionamiento automatizado exceptuando la alimentación de materia prima y labores generales de mantenimiento.

La planta debe producir biogás de forma estable y controlada a pesar de enfrentar diversos cambios en la alimentación. Es muy posible que por logística haya plantas donde no se pueda alimentar diariamente, sino una vez cada varios días o incluso una vez a la semana. Esto no debe ser problema para la planta de biogás, que debe mantener el control de la producción de gas en todo momento y la estabilidad de las distintas reacciones.

Esta puede ser una gran limitación a la hora de localizar potenciales proyectos. Depender de una alimentación continua para tener una producción de gas estable reduce considerablemente las posibilidades de encajar el proyecto a nivel operativo en muchas ubicaciones.

Como puede comprenderse, este es otro apartado fundamental para rentabilizar la planta, que no haya problemas de producción por cambios de composición en los materiales de entrada o por un incremento puntual de carga orgánica y se genere un biogás que pueda ser valorizado económicamente.

3. **Tener un coste de inversión contenido.**

Alcanzar este punto está muy relacionado con un diseño de ingeniería óptimo de la instalación. Los posibles modelos de negocio están muy limitados en cuanto a rentabilidad y sólo se podrá expandir esta actividad si se tiene un coste de inversión que justifique el riesgo y que permita rentabilizar la inversión en aquellos casos donde se cumpla la existencia de residuos y un uso justificado del biogás generado.

El coste de inversión debe evaluarse en función principalmente del uso que se le vaya a dar al gas generado, ya que cada uso requiere una inversión u otra.

4. Ingeniería Óptima.

El diseño de ingeniería deber ser tan bueno como sea posible, cuidando al máximo cualquier detalle, incluso los que no se ven. Se han necesitado años de investigación y de desarrollo para el diseño de algunas partes de la planta MPB.

El diseño realizado se basa en los siguientes aspectos:

- Diseño minimalista, amistoso y afable. Se busca que la planta sea lo más sencilla posible a nivel visual, sin ningún tipo de tuberías u otros elementos externos. Busca ser accesible, no ser excesivamente compleja. Normalmente las plantas de biogás no son algo cotidiano o agradable, en muchos casos todo lo contrario, tanto por diseño como por actividad u operación inadecuada. Hay que expandir el conocimiento social del biogás y eso sólo puede realizarse si se asocia a instalaciones alejadas de problemas, rentables y que no sean tan impactante como los tradicionales reactores circulares de hormigón con las cúpulas flexibles.
- Cuidar los Detalles, sobre todo aquellos que puedan ser críticos. Todas las piezas y partes del diseño han sido evaluadas en detalle, sobre todo aquellas ocultas pero que pueden provocar un fallo futuro de la planta por reactividad química. Se ha trabajado todo con los materiales de mayor calidad posible, utilizando tuberías de acero inoxidable de forma externa o interna. No hay ninguna tubería de plástico o de hierro. Como detalle se considera también que la planta pueda quedar recogida completamente dentro del propio contenedor, sin tener que instalar o añadir elementos externos en la ubicación final. De esta manera, tras su alimentación, se podrá cerrar completamente tras recoger todos los elementos externos.
- Alimentación. Sistema sencillo y flexible. La planta necesita un sistema de alimentación que sea versátil y que pueda adaptarse en función de las necesidades. La planta debe ser capaz de admitir residuos pastosos, líquidos o sólidos, y disponer de una zona de separación de inertes. También se debe poder adaptar a una alimentación más industrial, realizada por pala cargadora o cinta, como la que se tendría si se procesa el residuo de algún proceso industrial continuo. El diseño de la primera versión del sistema de alimentación ha sido uno los aspectos que más recursos ha consumido.
- Capacidad de ampliación añadiendo procesos adjuntos. Se busca disponer de espacio suficiente para añadidos y mejoras posteriores, como procesos de higienización o esterilización. Esto puede permitir ampliar la planta en caso de que sea de interés económico. AGF PROCESOS BIOGAS SL ha entregado la primera planta de esterilización de cadáveres de cerdo SANDACH C2 por Método 1 de España. Esta tecnología ya está probada y puede integrarse en la MPB. Se ampliará la información sobre la planta de esterilización en futuras entradas de este blog.
- Equipos de primera calidad, similares a los de una planta industrial. Para tener una planta de funcionamiento fiable se debe disponer de equipos de primera calidad. Por eso, la MPB debe disponer de las mismas capacidades que una planta industrial tanto a nivel de equipos, válvulas, tuberías e instrumentación. Por lo tanto, el diseño buscará dotar a la planta de todas

las capacidades que tiene una planta industrial, para que no haya un severo efecto de cambio de escala.

- La planta debe funcionar sin almacenar gas. El gas debe producirse a medida que se consume, sin necesidad de almacenar el gas producido en un periodo donde el consumo es inferior a la producción. Ahorrar en la inversión necesaria para el almacén de gas -en caso de que se consiga- es fundamental para que el coste de inversión y la huella de la planta esté contenida. Además, los almacenes de gas son elementos peligrosos en cualquier instalación. Este aspecto supone uno de los principales retos de la planta.
- No usar plásticos. En las plantas existentes se suele instalar gran parte de las tuberías, tanto externas como internas, en materiales plásticos. Esto no supone una reducción de coste efectiva sobre la instalación con materiales más nobles, ya que el abaratamiento sobre metro lineal se ve compensado por el elevado coste de los accesorios; y además supone la posibilidad de desmontaje y cambio, lo que le da a todo el diseño un aspecto de provisionalidad que no se considera deseable. Las tuberías plásticas también incitan a modificar y cambiar las instalaciones, algo que se considera alejado de un proceso definitivo y una instalación de calidad. Por esto, todas las tuberías de la MPB están realizadas en inoxidable de calidad. La instalación de tuberías de alta calidad permite trabajar con fluidos sobrecalentados y asegura el correcto funcionamiento de la planta.
- No tener elementos añadidos en la ubicación final. Independientemente de mejoras que se quieran llevar a cabo en la ubicación final, las necesidades del emplazamiento no deben ser superiores a una solera y al suministro de servicios necesarios (agua y/o electricidad) y evacuación de la energía si procede, ya sea en forma de gas, o transformada en electricidad y/o fluido térmico.
- Capacidad de envío marítimo. Debido a que se considera la MPB de un producto de especial interés para países en vías de desarrollo, todo el diseño está realizado para su posible envío por transporte marítimo a cualquier puerto y su entrega posterior a cualquier parte del mundo.
- Fácil montaje en campo. Al no necesitar instalaciones externas y llevar todos los elementos probados desde taller, no son necesarios trabajos complejos de conexión y puesta en marcha de la planta. Lo que debería permitir el arranque rápido de la planta, tan pronto se reciba en destino, se conecte y se tenga operativa evitando problemas de conexión en campo y con la mayor brevedad posible.
- Marcado CE de la instalación. Debido a que no hay necesidad de un complejo montaje en destino, y que todo va diseñado y montado desde taller, se puede suministrar la MPB con un marcado CE y una evaluación HAZOP de cumplimiento de todos los requisitos legales a nivel de seguridad.
- Que pueda ser producido en serie también debe abaratar los costes de inversión. Se busca disponer de 6 modelos de planta combinando distintos sistemas de alimentación y distintos usos del gas. Si el diseño no tiene que adaptarse, se podrá industrializar su montaje y tener un coste de inversión cada vez controlado.

5. Bajo coste de operación.

El coste de operación está muy relacionado con el diseño. Las estimaciones realizadas durante el diseño se consideran dentro de un rango asequible, aunque se tendrán que estudiar en el primer prototipo. Los costes laborales pueden suponer la mayor carga para la planta, por lo que se diseña con un alto grado de automatización, siendo labor del operario únicamente la alimentación de la planta, el resto funciona en automático y está controlado en remoto por el equipo del Centro de Operaciones (COP) de AGF.

AGF PROCESOS BIOGAS SL ofrecerá el servicio de operación en remoto de la planta. La entrega de la planta es el comienzo de la verdadera relación entre las partes, ya que AGF no quiere que el promotor quede abandonado a su suerte con una instalación que no controla, y a la que está obligado a dedicar tiempo y esfuerzo.

6. Nuevos usos del gas. Producción de gas renovable.

La planta MPB tiene diversos usos posibles como instalación generadora de energía renovable. Es capaz de generar energía eléctrica y/o térmica, pero también puede ser capaz de producir gas renovable como vector energético para un uso posterior. Debido al estado actual del sector, donde todas las instalaciones están destinadas en su mayoría a la producción de energía eléctrica, se decide intentar dar un salto tecnológico y se intentará desarrollar el caso más complejo: producir biometano.

Para ello se ha desarrollado la planta de enriquecimiento, la PE 3 BM10, que combinada con la MPB dará el producto comercial de la MP2B, Mini Planta de Biogás y Biometano.

Producir energía eléctrica o calor es algo superado, sencillo, y es un uso válido que puede tener un mercado amplio. Hacer un proceso de separación de gases a baja presión y en una instalación de bajo coste sí es un reto tecnológico. El desarrollar la MiniPlanta de biogás con una planta de biometano sí es un gran salto adelante dentro del sector. Esta planta de separación de gases no espera llegar a valores de concentración de biometano para su uso en la red de gas natural, sino Para su uso vehicular o su distribución a un punto de consumo cercano.

El proceso que se llevará a cabo en esta instalación es novedoso, y busca el punto de mayor separación de solubilidad entre los distintos gases a separar. El diseño de esta planta de enriquecimiento PE3 BM10 se ha llevado a cabo buscando no superar un coste de inversión determinado, por lo que no se podía trabajar a presiones moderadas ni altas.

El funcionamiento de esta planta de enriquecimiento y del proceso que lleva a cabo sería uno de los principales objetos de estudio de la planta piloto, en esta primera versión construida. Si se consigue que la MPB cumpla con los principales requisitos de diseño previamente recogidos, se podrá poner en el mercado una planta de biogás que pueda contribuir a relanzar el sector de la gestión de pequeñas producciones de residuos orgánicos, ya que será capaz generar un vector energético que se pueda valorizar al mayor precio posible y en su totalidad.

Por ello, se decide no instalar un grupo de cogeneración para producción eléctrica, y dedicar el espacio y la inversión a la versión prototipo de la PE3 BM10, la planta de enriquecimiento a baja presión.

Diseño de la MPB. Características de la MPB.

Proceso a llevar a Cabo en la MPB.

El proceso desarrollado en la MPB es un proceso catabólico bioquímico en condiciones anaerobias, que operan en un sector cuantitativo de residuos orgánicos de entre 500 y 3.000 kilos diarios. Por encima de ello estaríamos ante instalaciones industriales y por debajo encontraríamos las micro-plantas, de carácter doméstico o de investigación, ambas sin objeto económico identificable.

Igual que en las instalaciones industriales, se utilizarán residuos orgánicos como materia prima que, por degradación biológica anaerobia controlada, producirán biogás. Ese proceso controlado y estable permite secuenciar la producción a la demanda de su uso, resultando innecesario el almacenamiento de biogás. El biogás se produce a demanda y está listo para ser aprovechado energéticamente. Se puede utilizar para generar energía eléctrica y/o térmica. También se puede llevar a condiciones de biometano tras un original proceso de enriquecimiento concentrando el metano por encima del 90%.

La planta desarrolla un proceso de producción de biogás de alta eficiencia por elevada cinética. La materia prima es cargada a la planta mediante un sistema de alimentación automático, que permite una separación de materiales pesados e inertes. Este sistema está diseñado para seleccionar, triturar y homogeneizar la mezcla antes de su entrada a planta.

Una vez alimentada la planta, se lleva a cabo un proceso de descomposición anaerobia en condiciones óptimas para convertir la materia orgánica en gas, utilizando variables de temperatura, pH, potencial redox, variables microbiológicas y homogeneización. La presión del gas generado es controlada directamente por el balance entre producción y consumo del gas. El gas generado no precisa un almacenamiento externo, ya que se almacena mediante control de presión en la parte superior del tanque (Figura 1, punto 2). El gas se produce de forma controlada, pudiendo ajustar la producción a la demanda, lo que permite no tener que almacenar el gas.

En caso de ser necesario, el gas se somete a un proceso de desulfurización mediante la inyección controlada de oxígeno a presión, con el objetivo de mantener bajo control la concentración de este compuesto.

El gas generado es secado y luego utilizado para cualquier de las aplicaciones típicas, como producción de electricidad o calor en sus distintas vertientes. También puede ser empleado para la producción de gas renovable o biometano si se somete este gas a un proceso de enriquecimiento.

El líquido una vez digerido se almacena en el Tanque Final, un tanque donde se retiene el material digerido antes de su salida de la planta para su estabilización final. El uso de este líquido digerido es la fertilización agrícola u ornamental. Este líquido generado proviene de la humedad estructural de los materiales de entrada y arrastra todos los nutrientes.

Características técnicas de la MPB.

Cuadro 1. Características Técnicas de la MPB

MPB. MINI PLANTA DE BIOGÁS.			
Versión	V1. 2019.		
Breve descripción	Planta AD prefabricada. La planta se compone de dos contenedores ISO en los que se incluyen todos los equipos, reactores y elementos para el funcionamiento de la planta.		
TECHNICAL DATA SHEET.			
Dimensiones	Valor	Unidad	Comentarios
Largo	12	m	<i>Dimensión del contenedor ISO de 40 pies.</i>
Ancho	5	m	<i>Dimensión del contenedor ISO</i>
Altura	2.6	m	<i>En caso de actualización de la unidad, la altura máxima alcanza los 6m.</i>
Superficie	61	m ²	<i>Dependiendo de la adición externa.</i>
Requisitos de obra civil	70	m ²	<i>Cimientos o losa de hormigón.</i>
Peso vacío	10.000	kg	<i>Peso de los recipientes totalmente equipados.</i>
Peso operacional	58.000	kg	<i>Peso de la planta que corre a alturas de líquido nominales.</i>
Potencia instalada	24	kWe	<i>Potencia eléctrica total instalada. Motor, instrumento, luces, etc.</i>
Consumo máximo	13	kWe	<i>Consumo máximo permitido.</i>
Datos de la Alimentación	Valor	Unidad	Comentarios
Flujo de materia fresca	~1	t FM/d	<i>El flujo de entrada varía en función de la composición de residuos.</i>
Materia orgánica	20	% FM	<i>El 80% de los residuos son materiales sólidos biodegradables.</i>
Contenido de humedad	78	%FM	<i>Contenido de agua. Humedad externa y agua intracelular o molecular.</i>
Ceniza	2	%FM	<i>Suelo y cenizas incluidos en los residuos.</i>
Flujo de MSO	200	kg/d	<i>Flujo de materia seca orgánica alimentada a la planta a diario.</i>

Producción de gas	Valor	Unidad	Comentarios
Caudal de biogás	~5	Nm ³ /h	Producción aproximada de biogás. Flujo medio en estado estacionario.
Contenido de metano.	60-68	% mol.	El contenido de metano depende de la composición de las materias primas.
Caudal de metano	~3	Nm ³ /h	Caudal volumétrico normal de metano. Caudal medio en estado estacionario.
Caudal Másico de metano	~2,2	kg/h	Producción del caudal en masa de biometano.
Producción de energía	Valor	Unidad	Comentarios
Electricidad equivalente	~11,5	kW el	Producción de electricidad en caso de uso del gas en un CHP. Considerando PCI
Calor equivalente	~15	kW th	Producción térmica CHP. Considerando PCI. Agua caliente dT 15°C.
Energía total de energía	35	kW _T	El gas como vector de energía. Considerando el PCS del gas.
Producción total	~280	MWhT/year	Producción total de energía en forma de gas. Vector de energía.
Producción total electricidad	~93	MWhel/year	Potencia total por año.
Equipos instalado	Datos.		Comentarios.
Sistema de bombeo	2 unidades. 4 kWe each.		Bombas lobulares para lodos de alta densidad.
Bomba de alimentación	1 unidad. 2 kWe.		Bomba de tornillo para controlar el flujo de alimentación.
Trituradora	1 unidad. 2 kWe.		Trituradora para destruir el material de entrada por debajo de un tamaño de partícula de 6 mm.
Caldera de autoconsumo	1 unidad. 14 kWt. Hot water		Caldera de agua caliente modificada para quemar biogás. 14kWt. No es necesario si CHP está instalado.
Compresor de aire	1 unidad. 2 kWe.		Equipos para la generación neumática de aire. Aire comprimido como utilidad.
Sistema de calefacción	1 unidad		Bombas, tuberías, instrumento, intercambiadores de calor para mantener las temperaturas bajo control.
Sistema de refrigeración	1 unidad		Unidad de enfriador. Agua fría a 5°C. Aire acondicionado y proceso de refrigeración.

Intercambiador de calor	1 unidad	<i>Para enfriar el gas, para controlar la humedad relativa a un valor adecuado para la combustión.</i>
Válvula de seguridad	1 unidad	<i>Válvula de seguridad para evitar la sobrepresión mecánica del gas.</i>
Antorcha de seguridad	1 unidad	<i>Antorcha de seguridad para liberar gas quemándolo.</i>

Fuente: AGF PROCESOS BIOGÁS SL



Figura 2. MPB durante las pruebas efectuadas en Junio de 2020. (AGF PROCESOS BIOGAS SL).



Figura 3. MPB durante las pruebas efectuadas en Junio de 2020. (AGF PROCESOS BIOGAS SL).

METODOLOGÍA.

Cómo buscar solución real de economía circular.

La MPB tenía que ser una solución a una demanda concreta en gestión de residuos, que mejorara la gestión previa. Todo ello en un contexto de economía circular. Por tanto, la única manera de poder contrastar las condiciones de diseño para conseguir estos objetivos era construir una MPB a tamaño real, diseñar una logística de recogida de residuos orgánicos y probar la MPB en condiciones reales.

Además, todo lo anteriormente expuesto no tiene mucho recorrido empresarial si no se alcanza una rentabilidad económica que en el peor de los casos sostenga la actividad y que en el mejor genere una rentabilidad suficiente para que este tipo de proyectos pueda ser financiado.

Construcción de la MPB

AGF tiene experiencia en la construcción de unidades de procesos prefabricadas². Ha diseñado salas de bombeo, cuadros de control, unidades de pretratamiento de residuos, entre otros, de manera modular utilizando contenedores de transporte marítimo. Este tipo de diseños han demostrado ser efectivos en los proyectos industriales que AGF ejecuta.



Figura 4. Trabajos de construcción de la MPB en taller. (AGF PROCESOS BIOGAS SL).

Por esto motivos las MPB se benefició de toda esta filosofía de diseño. La idea era aprovechar la experiencia de diseño y construcción en contenedores marítimos estándar. De esta manera la MPB como producto tiene la facilidad de transporte desde el taller de construcción a su ubicación final. Se emplearon dos contenedores ISO de transporte marítimo de 40 pies.

Para este primer modelo real de MPB se le añadió una planta de enriquecimiento de biogás a biometano para bajo caudal y baja presión, adaptada a la producción de biogás de la MPB. El resultado estético es que en uno de los laterales de la MPB se han acoplado 4 columnas donde se lleva a cabo parte del proceso de separación de gases.

Tanto los trabajos de construcción en taller como las pruebas estaban proyectados para el segundo trimestre de 2020. Como consecuencia del COVID los tiempos previstos se vieron afectados. Una vez construida la MPB se ejecutaron dos periodos de pruebas. Durante Junio y Septiembre de 2020.

Transporte, instalación y puesta en marcha.

Debido a las características descritas de diseño y construcción, el transporte fue bastante sencillo. Se emplearon camiones cuyos remolques estaban preparados para contenedores de 40 pies. Es un tamaño estándar es fácil encontrar transportistas con este tipo de vehículos. Se pueden usar un único camión para los dos contenedores con un remolque y un semirremolque. Las columnas de la planta de enriquecimiento deben de transportarse a parte.

² https://www.youtube.com/watch?v=6PATnY6bfLk&feature=emb_logo

La instalación de la MPB se realizó en el mismo día del transporte. Esto no siempre podría ser así. Si hablamos de grandes distancias o transporte marítimo internacional los tiempos se pueden alargar. El diseño de la MPB facilita en todo caso el montaje de la instalación en campo de manera rápida.

Para la puesta en marcha se establecerían los mismos protocolos, pero adaptados a la MPB, que los equipos de AGF aplican durante la puesta en marcha de las instalaciones industriales.

Recogida y alimentación. Logística.

Para poder realizar las pruebas reales en la MPB era necesario conseguir una cantidad diaria de residuos que oscilara entre los 300 kg, hasta 1 tonelada. Ese era el objetivo planteado. Para este fin se habló con empresas de hostelería. Concretamente con hoteles, restaurantes, comedores, empresas con comedores que sirvieran diariamente catering y fruterías.

Los residuos orgánicos podrían venir, en función de su origen, con mayor o menor cantidad de impropios. La alimentación se haría de manera manual en la MPB. Un operario sería el encargado de conseguir la última separación para que en la planta solo entrara materia orgánica. El tiempo que tardara el operario también se tendría en cuenta con toda la información generada en esta fase de pruebas, ya que para algunos usos de la MPB será necesario la alimentación y separación manual.

La materia se recogía a primera hora de la mañana. Algunos establecimientos almacenaban su residuo orgánico del día anterior y un operario de AGF se pasaba para el traslado a la ubicación de la planta. Por la noche se estableció otra ruta de recogida por establecimientos como los restaurantes. Este tipo de negocios tienen más complicado almacenar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en sus cocinas. La alternativa de todos los negocios que participaron en la prueba para sus residuos era el contenedor verde de los RSU.

La alimentación de la MPB se realizaba a medio día, tanto con los residuos recogidos esa misma mañana como los de la noche anterior. La cantidad media alimentada en la planta se situó entre los 350-450 kg al día.



Figura 5. Zona de alimentación de la MPB durante las pruebas. (AGF PROCESOS BIOGAS SL).

Funcionamiento de la MPB. Elementos de control y operación.

La MPB puesta a prueba es una planta de biogás a tamaño real y con todas las capacidades de las MPB que AGF ha empezado a comercializar recientemente tras el éxito de este modelo de planta. Como tal, es el resultado de un escalado inverso de la tecnología industrial de AGF de producción de biogás. Y como tal, tiene todos los elementos necesarios para llegar a conseguir la misma eficiencia de producción que las plantas industriales.

Una vez alimentada la planta de madera diaria, se ponía en funcionamiento el sistema de control de la planta. La planta para el modelo de una tonelada diaria dispone de dos contenedores de 40 pies. Uno de ellos es la zona de tanques de producción y el otro donde se sitúa toda la maquinaria, circuitos de fluidos, línea neumática, sistema de bombeo, aprovechamiento del gas, etc. Entre estos sistemas, se encuentra el cuadro de control, con todo el hardware necesario para el funcionamiento y control de la MPB. En un ordenador comunicado con el PLC se instaló el SCADA. La misma filosofía de control de plantas industriales se ha aplicado a la MPB. AGF diseñó un software específico para el control de la MPB. Desde este ordenador un operario puede saber qué está pasando y manejar la MPB.

El ordenador está conectado en remoto con el Centro de Operación de Plantas de AGF (COP). El COP juega un papel fundamental en la operación industrial de plantas de biogás y biometano de AGF. De igual forma, al tratarse de una experiencia real con la MPB, el COP estaba conectado en remoto con la MPB. La función del COP es la operación telemática de la planta. Se actuó de igual manera que los proyectos industriales de gran tamaño: un operario realiza labores en la MPB. Desde el COP se analiza la evolución de la MPB, se dan instrucciones al operario y se toma el control de la MPB llegado el caso.

Desde el COP se analizó la alimentación diaria de la planta, la evolución de los procesos internos y se registró todo lo ocurrido los días de pruebas en un escenario real para la MPB. Gracias a estos registros se podrán estudiar los resultados de la MPB

Producción de gas renovable. Biogás y Biometano.

La MPB no dispone de un almacén de gas externo. La producción de biogás se realiza de manera controlada y constante. Solo de esta forma se puede prescindir de elementos de almacenamiento. La producción de biogás se ajusta a las necesidades de consumo del mismo.

El biogás producido en la MPB tuvo dos usos. El primero fue la producción de agua caliente para el sistema de calefacción de la planta. Se produce un autoconsumo térmico en los procesos que demandan temperatura en la MPB. El gas restante sería probado en la planta de enriquecimiento para la MPB.

El objetivo era producir biometano de manera estable por encima del 90%. Una vez enriquecido y cuantificada su producción, se quemaría en antorcha ante la falta de uso. En una aplicación real de la MPB se podrá emplear el biogás obtenido para producir calor, electricidad, ambos o biometano.

RESULTADOS.

Construcción, logística y Puesta en Marcha.

Todo el desarrollo de esta Mini Planta de Biogás MPB y la planificación inicial del proyecto se ha visto afectado por el COVID 19 y sus consecuencias. No se ha podido concluir hasta junio lo que estaba planificado para finales de marzo. Esto ha obligado a modificar el plan inicial y se ha realizado la puesta en marcha de la planta y las pruebas durante los meses de Junio y Septiembre. A comienzos de Junio se pudo concluir el montaje en taller de la planta MPB y se envió a la planta de biogás de BIOGASNALIA³, en el polígono industrial de Villalonquéjar, en Burgos, para proceder a su puesta en marcha y sus pruebas de funcionamiento. Durante el mes de Septiembre se tuvo la oportunidad de comenzar otras pruebas aplicando las mismas condiciones de operación de Junio.

Una vez ubicada en su destino, el equipo de AGF procedió a certificar la operatividad de la instalación e instalar el programa de control, y se hizo la puesta en marcha hasta tenerla completamente operativa y lista para la primera carga. La planta MPB dispone de las mismas capacidades y procesos que una planta industrial con el diseño y la tecnología de AGF. Eso hace de ella un complejo sistema de arrancar y operar, independientemente del tamaño y los volúmenes de reacción de ésta. Escalar una planta industrial a un tamaño tan pequeño sin perder funcionalidades es una tarea compleja, y requiere de bastante tiempo de prueba a largo plazo de la planta para poder asegurar que se ha conseguido completamente.

La planta fue cargada con lodo activo de la planta de biogás y se pudo consumir el propio biogás generado por este lodo para el arranque de todo el sistema de calefacción. Por lo tanto, no ha sido necesaria ninguna fuente externa de energía para este arranque. El consumo eléctrico de la MPB se ha tomado de la propia producción de la planta de biogás industrial, que mantiene a la parcela en total isla energética, tanto eléctrica como térmica. Este modelo de MPB no tiene instalado ningún equipo de producción eléctrica, aunque está preparada para su instalación en un futuro si se considera oportuno.

Durante varias semanas de Junio de 2020 estuvo produciendo gas y se alimentó con residuo orgánico recogido de distintos colaboradores. Se ha procedido a hacer una recogida en distintas empresas, hoteles, bares y restaurantes para poder realizar una simulación de la alimentación normal de la planta. Esta basura, tras una separación previa, era alimentada a la planta, que la procesaba de acuerdo con el programa de control.

El objetivo de esta recogida era también cuantificar la cantidad disponible de basura orgánica, la calidad de esta y su grado de separación en origen. Durante esta recogida se ha conseguido alimentar una mezcla de materia orgánica con un gran potencial de producción de biogás. Se observó que la producción de biogás se mantuvo estable solo con el residuo producido en dos calles turísticas con presencia de restauración. De estas calles, debido al COVID, gran número de establecimientos estaban cerrados, aún así, el residuo generado estuvo en el entorno a los 400 kg/diario.

³ <https://www.grupoecoalia.com/tratamientos-e-instalaciones/tratamiento-de-biogas/>

Estas cargas de alimentación han servido para probar y evaluar todo el sistema de alimentación de residuos orgánicos de la planta, que ha procesado sin problema cientos de kilos diarios de residuos biodegradables de toda naturaleza que han sido convertidos a biogás.

Funcionamiento estable de la planta de biogás.

Durante el funcionamiento de la MPB se consiguieron los siguientes objetivos:

1. Control de producción de biogás. La planta ha estado produciendo biogás controladamente, sin necesidad de ningún tipo de almacén de gas. Se han probado con éxito hasta tres estrategias distintas de control de este proceso de producción a demanda, siendo cada una de ellas apropiadas para distintos funcionamientos de la planta y usos del gas. El caudal de gas de la planta ha sido constante en el valor deseado y ha sido medido por los dos caudalímetros que se han instalado en la MPB.
2. Funcionamiento automático de la planta. La planta ha operado con todas las funciones principales de la misma en automático, lo que supone una demostración de funcionamiento esta planta que ha permitido evaluar la verdadera necesidad de mano de obra de esta instalación.
3. Producciones relativas similares o superiores a la de la planta industrial. La MPB ha producido con una media de eficiencia volumétrica ($\text{Nm}^3\text{mR}^{-3}\text{d}^{-1}$) similar a la planta industrial, estando durante momentos puntuales por encima de esta eficiencia de producción. Esto es una prueba del prometedor futuro que el escalado inverso de la tecnología de AGF puede tener.
4. Control de temperaturas. La planta es capaz de mantener un nivel de control elevado sobre las temperaturas de proceso, con un diseño de calefacción similar al de las plantas industriales de AGF. Este es un grave problema de las plantas industriales, donde no se tiene un control efectivo de las temperaturas y potentes gradientes térmicos dentro de los grandes volúmenes de reacción.
5. Autoconsumo de biogás. Todo el biogás generado ha sido consumido en la antorcha de seguridad de la planta excepto el gas que ha demandado la caldera para mantener las temperaturas de proceso, que ha sido una pequeña fracción del total producido. En esta unidad no hay ningún uso final del biogás por el momento, de ahí que haya sido quemado en la antorcha.

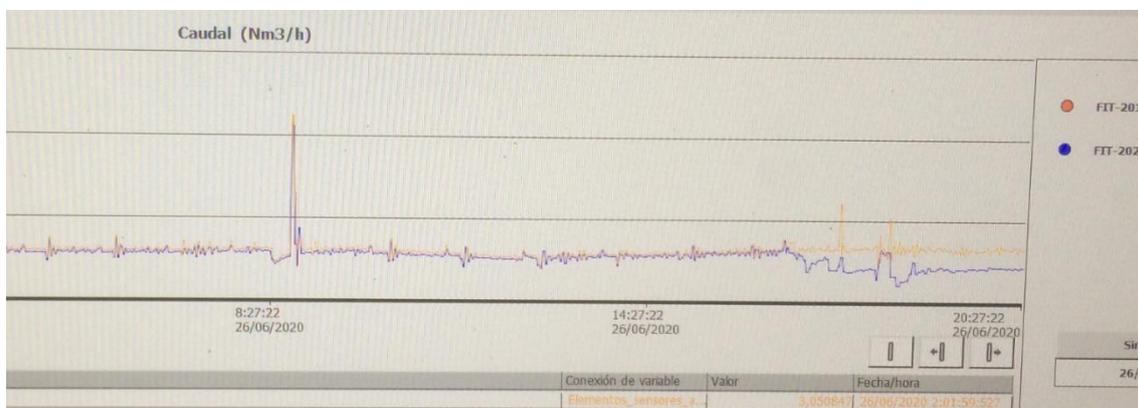


Figura 6. Caudalímetro de la MPB. Se puede comprobar como el caudal de gas producido en la planta ha sido constante. (AGF PROCESOS BIOGAS SL).

Producción de Biometano.

La MPB se ha diseñado integrando una planta de enriquecimiento a baja presión, la MP2B. La idea es utilizar esta planta cuando el potencial uso del gas requiera la generación de biometano, y dependerá de cada proyecto. Por lo tanto, una Mini Planta de Biogás (MPB) que integre el proceso de enriquecimiento se denomina MP2B (Mini Planta de Biogás y Biometano) independientemente del uso final del gas.

Si la MPB comercialmente debe entrar en un precio asequible y rentable, la MP2B debe cumplir con estos requisitos también, por lo que la planta de enriquecimiento no debí suponer un gran sobrecoste de inversión y, principalmente, de operación. Por ello no se ha considerado adecuado ningún tipo de enriquecimiento que requiera una elevada presión de gas y la planta de enriquecimiento ha sido diseñada buscando el óptimo de separación por solubilidad en agua de los gases trabajando a baja presión.

Es un proceso novedoso que funciona integrado con la MPB. El control de esta planta es complejo, alcanzándose sistemas que difícilmente pueden ser regulados por controladores PID en respuesta transitoria, y que requieren la sintonización de compensadores por su gran efecto de bola de nieve. Finalmente se ha instalado una primera versión del sistema de control, que ha servido para probar la planta de enriquecimiento utilizando el caudal de gas constante de la planta MPB.

La planta de enriquecimiento ha sido probada durante días procesando un caudal constante de biogás generado en la MPB. En la Figura 6 puede verse el efecto de la planta de enriquecimiento en los caudales de la planta, siendo la medición de la línea azul la lectura de caudal del biometano generado en la planta de enriquecimiento y la línea naranja el biogás producido por la planta MPB.



Figura 7. Detalle de la planta de enriquecimiento a baja presión construida y utilizada para la prueba de la MPB (AGF PROCESOS BIOGAS SL).



Figura 8 Composición media del biometano generado, se han alcanzado mayores concentraciones de metano. (AGF PROCESOS BIOGAS SL).

Por lo tanto, se ha podido evaluar su rendimiento como proceso de separación de gases. Se han alcanzado distintos puntos de funcionamiento válidos, siendo posible obtener un gas con un contenido en metano superior al 90% en fracción molar. El gas más estable obtenido ha tenido una composición como la mostrada, manteniendo prácticamente constante durante horas estos valores. El máximo de metano conseguido ha sido del 95%, lo que supone un resultado muy prometedor, al ser una primera aproximación a la operación de esta planta y disponer de ella para la optimización del proceso.

Como ya se ha comentado, en la planta MP2B el gas producido -ya sea biogás o biometano- se ha empleado para producción de agua caliente para autoconsumo de la propia planta. El resto del biogás ha sido enviado a antorcha, donde se podía comprobar visualmente la variación de la riqueza del gas quemado⁴, siendo la combustión del gas enriquecido cercana a la combustión de gas natural.

⁴ Video de las pruebas de quema del biometano producido en la antorcha de la MPB durante las pruebas. <https://www.flickr.com/photos/138462698@N06/50059571017/play/720p/509b9dc9dd/>.

DISCUSIÓN.

Para poder plantear el análisis de un nuevo producto comercial como la MPB, con el estándar de calidad de que AGF aplica a sus instalaciones industriales, sólo se podía establecer una metodología que abarcara una serie de hitos muy concretos. Por orden, estos pasos estaban enfocados en el diseño de la instalación, la construcción y traslado de la planta, idear un sistema de logística que se asemejara con un potencial caso real de uso, la puesta en marcha y el análisis de funcionamiento de la planta. Solo de esta manera se podría hacer un análisis crítico de la MPB, con los resultados obtenidos en cada paso. Los resultados a escala real de la MPB fueron fundamentales para que la empresa decidiera si la planta cumplía unos criterios mínimos para poder ser considerado ya una solución comercial.

Evaluación de resultados.

Objetivos de diseño alcanzados.

El escalado inverso de la tecnología era una de las principales preocupaciones de AGF. La tecnología industrial de producción de biogás para plantas de gran tamaño en comparación con la MPB es conocida por la empresa. AGF ha diseñado, construido y en la actualidad opera varias instalaciones industriales de gas renovable. Dentro del mundo de la ingeniería es conocida la dificultad de escalar inversamente, reduciendo tamaño, procesos que funcionan a una escala superior para hacerlos rentables. A tenor los resultados obtenidos, las condiciones de diseño impuestas para lograr este fin han sido exitosas.

Con estas condiciones de diseño, se ha podido comprobar:

- Producción de los materiales dentro de rango. La producción de biogás en la MPB está dentro del rango de producción que pudieran tener en una planta industrial operada por AGF. Esto quiere decir que se ha conseguido agotar el material y producir todo el biogás posible.
- Control de temperatura. Como se indicó anteriormente es uno de los parámetros más delicados dentro de la operación de una planta de biogás. Una temperatura descontrolada puede ser desfavorable para la producción dentro del rango del material. En la MPB la temperatura está controlada en todo momento y ajustada a los procesos de producción que se llevan a cabo en la planta.
- Control producción de biogás. Se ha conseguido la producción controlada de biogás en la MPB. Este tipo de producción es la manera de operar que tiene AGF en sus grandes plantas industriales. Se ajusta la producción a la demanda de producción de biogás, ya sea para autoconsumo o producción posterior de biometano. A la escala de la MPB esto implica el prescindir de gasómetro. Este hecho hace que el diseño de la instalación se más limpio, solo dos contenedores. Otras plantas pequeñas están ancladas al uso de gasómetro, lo cual incrementa la superficie ocupada por la planta, expone elementos sensibles a la vista y al exterior de la instalación y, en resumen, son diseños menos elegantes. Esto es importante dado el uso potencial de la MPB en cadenas hoteleras, cruceros, cerca de comedores o zonas de restauración, pequeña industria alimentaria, etc.

- Proceso automático excepto la alimentación. Con el sistema de control de AGF, el SCADA instalado en la planta, junto con el diseño se puede lograr un alto grado de automatización en el funcionamiento de la planta. Esto es lo que se hace de manera habitual en las plantas industriales grandes y era un objetivo de diseño y operación. Se ha conseguido una operación estable en automático y se ha delimitado el tiempo real que el operario debe dedicar a la MPB. Este se ciñe principalmente a introducir dentro de la planta los residuos orgánicos, teniendo que separar los impropios si los hubiere. Esta operación de separación puede llegar a ser la principal tarea para el operario.
- Nuevo proceso de enriquecimiento válido. A los usos tradicionales de producción de energía eléctrica y térmica del biogás, se les une la producción de biometano. El condicionante de la MPB es que, como consecuencia del poco caudal de residuo que se le alimenta, durante las pruebas sobre unos 400 kg/día, producirá un caudal de biogás acorde a la alimentación. Las soluciones comerciales que existen en el mercado de la separación de gases, incluso las que diseña y fabrica AGF no están preparadas para estos caudales. Era necesario un diseño adaptado al mercado en el que está enfocada la MPB. Para ello se diseñó la MP2B, para funcionar en rangos de bajo caudal de gas y baja presión. El objetivo de diseño era que, además del funcionamiento y la producción de biometano en concentraciones superiores al 90%⁵, tanto el coste de fabricación como de operación fueran interesantes en la escala en la que trabaja la MPB. Estos objetivos se consiguieron y la producción de biometano se estabilizó entorno al 93%. Incluso se consiguieron picos por encima del 95%. Sería necesario en cuanto a la producción de biometano tener registros de producción y estabilidad largos en el tiempo. Pero los primeros resultados han sido muy prometedores.

Objetivos de construcción.

El objetivo de construcción se fijó en poder construir la MPB en un taller, que todos los elementos, salvo algún elemento externo, estuviera dentro de dos contenedores. Se quería aportar la experiencia de AGF en la construcción de unidades de proceso modulares y transportables. Se pretendía que la instalación en campo fuera sencilla y para ellos era fundamental tanto el diseño, como la construcción en taller.

Dados los resultados de la instalación de la MPB y la evaluación interna hecha por AGF durante la construcción, ha sido posible integrar la construcción de la MPB dentro de la línea de procesos industriales que habitualmente diseña, construye y suministra.

Estudio del potencial de disponibilidad de residuos.

Fue una sorpresa el descubrir la gran cantidad de residuos que actualmente van a vertedero y que podían tener una gestión mejor. Se sospechaba esta situación, pero hasta que no se ha llevado a cabo la prueba real de funcionamiento de la MPB no se ha podido cuantificar el potencial real de estos residuos.

Como ya se ha indicado se consiguieron con bastante facilidad un caudal diario en el entorno de los 400 kg. Esta caudal había días que se suministraba desde los establecimientos de dos calles

⁵ En comunicación personal con fabricantes de vehículos impulsados con Gas Natural Comprimido, se nos ha informado que el medidor de calidad de gas de un coche GNC marca en su escala "100%" cuando la concentración de metano es superior al 87%.

con muchos establecimientos de hostelería. Incluso en plena pandemia de COVID 19, con las restricciones pertinentes, y con actividad hostelera entorno al 60-70% de su capacidad habitual, estas dos calles podrían mantener la alimentación de la MPB.

Esta comprobación de campo de los residuos potencialmente usables en una MPB, abre un abanico de posibilidades para la implantación de una mejor gestión de estos a nivel urbano. En definitiva, se podría acercar las soluciones de la gestión del residuo, de una manera circular, con producción de energía al propio productor del residuo. Incluso a nivel municipal.

En base a los resultados obtenidos se pueden proyectar dos escenarios distintos, un uso de la MPB a nivel en una industria y un uso municipal.

Ejemplo productor industrial.

Se ha considerado un supuesto en el que una industria genera residuo orgánico por una cantidad aproximada de entre 500 a 800kg al día. El residuo es una mezcla pastosa de materia orgánica proveniente de rechazos y limpiezas, por lo que es agua en un 70%. Es fácilmente biodegradable, por lo que genera fuertes olores y tiene un alto coste de gestión, ya que tiene que ser recogida cada pocos días para evitar olores derivados de esta fermentación. Esta materia orgánica está siendo actualmente gestionada por un gestor autorizado, suponiendo un coste para la industria. A su vez, la industria tiene suficiente consumo térmico y eléctrico como para el uso del biogás generado.

Entre semana, la producción de este residuo es cercano a 1 t/d, no hay producción ninguna de este material los domingos, y la producción de los lunes está entre 500 y 1 t/d, debido a que se retoma de nuevo la actividad semanal por la empresa. También hay disponibles residuos del comedor de la propia industria y las podas de césped de un jardín que embellece la entrada a la fábrica.

A nivel de consumo energético, la empresa necesita gas durante toda la semana para producir agua caliente, excepto el domingo, en el que sólo tiene consumo eléctrico. El consumo energético es de unos 20 kWt de media para producción de agua caliente de limpieza principalmente. Como no está ubicada en un polígono con gasoducto dispone de una instalación de propano, con la que alimenta dos calderas, una principal y una de seguridad. También tienen un grupo electrógeno para hacer frente a posibles cortes de suministro eléctrico. Durante la semana, el caudal demandado no es constante, teniendo picos de consumo. En cuanto a la electricidad, intenta consumir en periodos de bajo precio. En ambos casos, pero principalmente en el gas, es un consumidor con acceso a energía cara.

La planta MPB es alimentada por un operario de la empresa una vez al día, cuando descarga en la MPB toda la cantidad producida de residuo y los otros residuos disponibles, principalmente los de comedor. Esta operación se realiza en el turno de noche. Una vez alimentada la planta, la MPB comienza su proceso automático de carga. El proceso de producción de biogás es independiente de este.

El gas generado está siendo alimentado directamente a una de las calderas de la industria, que ahora ha instalado un quemador dual biogás-propano. De normal se empleará la caldera de biogás, usando el propano de apoyo en caso de picos de consumo. Se instala un sistema de medición de caudal y de composición, para saber los kWhT diarios aportados por la MPB. La

combustión a esta caldera se controla desde la MPB, que aporta caudal y presión a cada punto de consumo. El uso de propano pasa a ser secundario, únicamente para cuando no haya biogás disponible o suficiente potencia con una caldera.

Parte del calor generado en la industria es derivado para mantener las temperaturas de la MPB. Para los periodos en los que no hay consumo en la industria, esta operación de calefacción se realiza utilizando una caldera propia instalada en la MPB. Para uso del biogás los domingos y parte del lunes, se utiliza el grupo electrógeno de gasolina de 10 kWe de la propia industria, modificado para su uso con biogás. De este grupo se abastece energía eléctrica a la propia MPB y a la industria durante los domingos y parte del lunes. El resto del tiempo consume la energía de la red, usando todo el biogás para uso térmico.

El domingo se reduce la producción de biogás de la planta para acompasar la producción a las necesidades de consumo. Se incrementa el consumo de energía de la propia planta para aprovechar el gas. En caso de excedente se aprovecha en la antorcha. El lunes vuelve a incrementarse la producción de gas de la planta para afrontar el incremento de consumo de la semana.

El caudal de biogás producido será de unos 7 Nm³/h de media, siendo la producción de metano del entorno de 5 Nm³/h. La potencia térmica equivalente es de entre 35-45 kWt. Durante periodos de una o dos horas el consumo puede subir hasta unos 10 Nm³/h de biogás.

Cada día, la planta MPB destruye físicamente unos 300 kg de la pasta residuo al convertir los compuestos orgánicos en gas. El líquido generado en la planta, el digerido, es empleado en el riego de una zona ajardinada que hay a la entrada de la fábrica. Procesar unos 1000 kg diarios conlleva la recuperación de unos 700 L de agua con todos los nutrientes del material de entrada. La planta de biogás ha cerrado el ciclo del carbono, convirtiéndolo de nuevo a CO₂, pero sirve para recuperar nutrientes y humedad.

En caso de que sobre digerido será enviado a la propia depuradora de la industria para los residuos líquidos.

El promotor de la MPB tiene unos beneficios principales, que son un ahorro en gestión de residuos y un ahorro en consumo energético, así como beneficios menores, como ahorro en agua de riego y la gestión correcta de sus residuos. En caso de ampliaciones, el promotor puede mover fácilmente la ubicación de la planta a otra zona de sus instalaciones. Al tener acceso a energía barata puede contemplar ampliaciones u otros usos del gas sobrante, como la venta de agua caliente a empresas vecinas. Por último, no se considera necesario hacer más extensa esta descripción para que cualquier experto en la memoria comprenda el alcance de la invención y las ventajas que de la misma se derivan. Se sobreentiende que en el presente caso serán variables cuantos detalles de acabado y construcción no alteren, cambien o modifiquen la esencialidad de la invención.

Ejemplo Ayuntamiento.

La implantación de la recogida selectiva cada día tiene más importancia en España. En pequeños municipios o barrios, donde es posible esta recogida (especialmente con el sistema puerta a puerta), y donde la gestión de los residuos urbanos supone un importante gravamen para los presupuestos municipales, la MPB puede ser una gran solución ecológica y económica. En primer lugar porque el sistema de recogida, limitado al ámbito local, limita considerablemente el gran coste de su transporte a vertedero o a otra instalación distante. Y, en segundo lugar, porque la obtención de una rentabilidad energética puede superar holgadamente el coste de recogida de residuos y de gestión y mantenimiento de la mini planta, sea en forma de electricidad, calor, riego para jardines o combustible para vehículos municipales.

En base a la experiencia en la prueba real con la MPB y la experiencia en el sector de biogás industrial, si suponemos una población de 1.000 habitantes con tres bares, una depuradora de aguas y una pequeña industria alimentaria, es muy posible una generación diaria de 500 a 800 kilos de residuos orgánicos. La recogida sería posible realizarla en unas pocas horas por un pequeño vehículo y un empleado municipal. Este se encargaría de cribar los residuos eliminando elementos inertes, de alimentar la planta y de realizar rutinarias tareas de comprobación y mantenimiento. Posiblemente en menos de media jornada habrá terminado su tarea. La instalación estará conectada telemáticamente para su control y operación remotos a la oficina municipal y al Centro de Operaciones de AGF para avisar de cualquier anomalía o riesgo que pueda producirse en la misma.

La MPB contará con un grupo electrógeno que producirá electricidad con el biogás obtenido. Se alimentará así el alumbrado público, de toda la población o de una parte. Su producción de 12 kw/hora, generará cerca de 300Kw al día, que, completados por una pequeña batería, permitirán el suministro de bastantes puntos de iluminación tipo LED.

El ahorro para el Ayuntamiento será de unos 40 euros en electricidad diarios o 1.200 mensuales, más el ahorro en la gestión externa de la basura, mensurable en 40 €/tn, lo que significará más de 700 €. En total, un ahorro de 1.900 € mes, con lo que se sufragará una parte importante del servicio. Además, sin entrar a valorarlo, se obtendrá agua de riego para más de 500 m² de ajardinamiento municipal.

Pero el beneficio más importante será el ambiental y la consiguiente conciencia creada en la población.

CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se pueden extraer de la prueba de la MPB en una situación real de funcionamiento son:

- Objetivos alcanzados. Estos objetivos abarcan los objetivos de diseño, de construcción de transporte e instalación, además de los objetivos de operación y funcionamiento que confirmarían el escalado inverso de la tecnología industrial de AGF.
- Es una solución real y más eficiente a la gestión de residuos. En ciertos escenarios como son pequeñas industrias, zonas municipales concretas o pequeñas poblaciones es posible gestionar los residuos con este tipo de mini plantas.
- El modelo de MPB probado de hasta 1t/día de tratamiento de residuos, para usos de biogás como la producción de electricidad o calor, ya estaría testado para ser comercializado en mercado. Los datos de costes internos de AGF así lo han demostrado. La consecuencia es que se oferta comercialmente la MPB.
- A los usos tradicionales del biogás se suma la producción de biometano a baja presión y pequeña escala. Este biometano se podría utilizar para aplicaciones que requieran más riqueza en el gas, comprimirlo y usarlo como GNC para vehículos, etc.

⁶ No se han usado referencias externas para este trabajo, salvo las expuestas en la Figura 1. Todo han sido datos proporcionados por AGF.