

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE MATADERO Y SU USO COMBINADO CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRACIÓN. PROYECTO BIOGASOL.

Cuadros F.

López-Rodríguez F.

Ruiz-Celma A.

Rubiales F.

González-González A. ^P

*Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura. Avda. Elvas s/n. 06071
Badajoz (Spain)*

Abstract

The aim of BIOGASOL project is to reduce the pollution from Extremadura's meat industry, and, at the same time, generate biogas through anaerobic digestion of Extremadura's meat industry's wastes. Biogas and solar energy captured by a parabolic solar disk are used in a Stirling engine to produce electric energy.

In order to get the highest return in decontamination and biogas production, it will be developed a microbiological analysis to identify bacterial populations, their grow dynamics and, finally, grow the bacterial species to optimize the anaerobic digestion.

The combination solar thermal energy-biogas will be analyzed to get the best performance in terms of electricity production. Particularly, some heat exchangers, that can be used with any of the renewable energy source, will be tested.

BIOGASOL project will optimize anaerobic digestion from meat industry wastes and the electricity production through the connection of biogas with solar thermal energy, using a stirling engine.

Keywords: *Biogas, anaerobic digestion, concentrating solar power.*

Resumen

El proyecto BIOGASOL tiene como objetivo disminuir la carga contaminante de los residuos producidos por la industria cárnica de Extremadura y, a la vez, producir biogás mediante la digestión anaerobia de los mismos. Este biogás se utilizará en un motor Stirling que operará también utilizando la energía solar captada por un disco solar parabólico.

Con el fin de obtener los máximos rendimientos en cuanto a descontaminación y producción de biogás, se desarrollará paralelamente un análisis microbiológico para identificar las poblaciones, conocer su dinámica de crecimiento y, finalmente, cultivar las cepas bacterianas que optimicen el proceso de digestión anaerobia.

La combinación biogás-solar térmica será analizada a fin de obtener los mejores rendimientos en cuanto a producción eléctrica. En particular, se analizarán y probarán

diferentes intercambiadores de calor que puedan usarse indistintamente con cualquiera de las dos fuentes térmicas.

Se trataría, en fin, de optimizar tanto el proceso de digestión anaerobia de esos residuos como el de la producción eléctrica a través de la conexión biogás-solar térmica de concentración, usando, un motor Stirling.

Palabras clave: *Biogás, digestión anaerobia, energía solar térmica de concentración.*

1. Introducción

1.2 Antecedentes y descripción del problema ambiental.

Los problemas medioambientales originados por la producción masiva de residuos ha despertado la sensibilidad ciudadana, exigiendo a las administraciones que éstos se gestionen adecuadamente antes de ser vertidos al medio ambiente.

En particular la producción de residuos en la industria agroalimentaria implica una serie de problemas no resueltos satisfactoriamente. Las soluciones que se han venido proponiendo en cuanto a la retirada de estos residuos por empresas especializadas que los neutralizan o degradan, son económicamente caras (Cuadros et al., 2006) y requieren grandes cantidades de energía y de agua para su eliminación. Hay casos en los que los residuos líquidos son descargados directamente a la red de saneamiento o a las corrientes superficiales de agua, lo que provoca grandes problemas de contaminación y desajustes graves en las depuradoras.

En lo que respecta a la industria cárnica en Extremadura, durante el año 2007 se sacrificaron en Extremadura un total de 1.397.040 reses (excluyendo el sacrificio de aves y conejos) [Junta de Extremadura, 2007], de las cuales 86.367 fueron de ganado bovino, 801.342 cerdos, 472.270 de ganado ovino y 37.061 de ganado caprino. Según la misma fuente [Junta de Extremadura, 2007], el peso medio de los subproductos generados por cabeza de ganado son: 240 kg residuos/bovino, 9 kg residuos/ovino, 6 kg residuos/caprino y 45 kg residuo/porcino. Teniendo ésto en cuenta, la cantidad de residuos generados en los mataderos de Extremadura en el sacrificio de estas reses en 2007 ascendería a 61.200 t/a aproximadamente. Este dato nos da una idea de la problemática ambiental a la que nos enfrentamos y la importancia de la correcta gestión de dichos desechos.

No todos los residuos generados por un matadero pueden ser sometidos a DA, solamente podrán ser utilizados los de tipo II y tipo III según el Sandach (Plan Nacional Integral de Subproductos de origen animal no destinados al consumo humano, Orden de la Presidencia 468/2008 de 15/02/2008 BOE nro. 50), los residuos de tipo I (MER = Material Específico de Riesgo) solo pueden ser eliminados por incineración por transposición del Reglamento CE 1774/2002.

Este problema de contaminación puede solucionarse de manera eficaz mediante la digestión anaerobia (DA) de estos residuos.

1.2 Caracterización del residuo.

En el caso particular del matadero en el que se va a desarrollar el proyecto, los datos concretos relativos al año 2006, así como la caracterización físico-química de los residuos, se presentan en la Tabla 1.

Cerdos ibéricos sacrificados	20.500	
Peso total vivo	3.280 t	
Residuos sólidos totales	922,5 t/año	
Vertido líquido	28.536 m ³	
Características de los residuos	Residuo sólido	Residuo líquido
DBO ₅	800 mg/l	2.600 mg/l
Sólidos en suspensión	500 mg/l	2.500 mg/l
Grasa	500 mg/l	
N-NKT	300 mg/l	100 mg/l
N-NH _x	200 mg/l	80 mg/l
N-NO ₂	0,2 mg/l	0,2 mg/l
N-NO ₃	0,5 mg/l	

Tabla 1. Animales sacrificados en el matadero objeto de estudio durante el año 2006. Cantidad de residuos generados y caracterización físico-química de los mismos.

El pH del vertido de esta industria se encuentra entre valores próximos a la neutralidad. Su valor oscila entre 6,4 y 7,7. Este vertido tampoco presenta sustancias tóxicas para los microorganismos depuradores. Siguiendo la misma metodología descrita anteriormente, la contaminación anual del matadero puede estimarse en unos 1.845 HE.

2. Metodología.

2.1 Descripción del proceso de digestión anaerobia.

La digestión anaerobia (DA) es una tecnología de degradación biológica de la materia orgánica en un medio anóxico. Presenta dos grandes ventajas, por una parte la de producir lo que conocemos como biogás, que es una mezcla de CO₂ (aproximadamente el 30%) y metano (el 70%) aprovechable energéticamente, y además se genera un lodo efluente libre de olores y rico en nutrientes aprovechable como enmienda orgánica.

Sin embargo, la bioquímica y la microbiología de los procesos anaerobios son mucho más complicadas que para los procesos aerobios, debido a la existencia de numerosas rutas que puede utilizar una comunidad anaerobia para la bioconversión de la materia orgánica. El mecanismo anaerobio puede representarse, en primera aproximación, como un proceso en tres fases:

- Hidrólisis y acidogénesis.
- Acetogénesis y homoacetogénesis.
- Metanogénesis.

De todo este proceso de DA queda un lodo efluente con una carga contaminante muchísimo menor además de la producción de una importante cantidad de biogás con un alto contenido energético. Así pues, una primera ventaja de la técnica de DA es su poder descontaminante de los residuos biomásicos húmedos.

2.2 Operación, cinética, modelación y control de los procesos anaerobios.

La selección de las condiciones ambientales que se deben mantener en el interior de un digestor se realiza en función de los conocimientos básicos sobre la microbiología, cinética y energía del proceso. El principal objetivo del digestor es mantener la mayor actividad bacteriana posible. La cantidad de microorganismos retenidos depende, en gran medida, de la configuración y diseño del equipo. El estado en que se encuentren esos microorganismos, y el lograr una flora equilibrada es función de los parámetros de operación.

Para que el proceso tenga lugar con el máximo rendimiento, se debe conseguir:

Mantener la actividad máxima de los microorganismos. Para ello es necesario controlar, el tiempo de retención hidráulica (TRH) del residuo y, por otro, conseguir que las condiciones físico-químicas tales como el pH, potencial redox, temperatura y nutrientes sean las adecuadas.

Mantener una concentración mínima de productos intermedios (ácidos volátiles). Este parámetro es un indicador del equilibrio existente entre los microorganismos implicados en las diferentes fases del proceso. Para conseguir mantener baja la concentración de estos y de otros compuestos, se debe tener en cuenta:

- La homogeneización, ya que se consigue un desarrollo uniforme de las diferentes poblaciones bacterianas, así como el mantenimiento del pH en el digestor.
- El TRH, que es un parámetro que nos permite controlar el caudal del efluente tratado.
- Conseguir aumentar la velocidad de aquella etapa que limite globalmente la velocidad del proceso. En este caso, la etapa que controla la producción de biogás corresponde a las bacterias metanogénicas.

Para el desarrollo y optimización del proceso son necesarios ensayos en plantas piloto (en nuestro caso será un biodigestor de 6,2 m³ de volumen) para determinar, por un lado las condiciones idóneas de la DA y paralelamente hacer un seguimiento microbiológico exhaustivo de las poblaciones bacterianas que participan en la misma. Con estos datos es posible modelar matemáticamente la cinética de estas poblaciones y poder extrapolar los resultados obtenidos a plantas de escala industrial. Por otra parte, debido a la gran cantidad de configuraciones de biorreactores existentes, hay que elegir el más apropiado para dicha transformación.

En principio, el proceso de digestión anaeróbica no necesita la utilización de cultivos puros de microorganismos en contraposición con otros procesos industriales de fermentación, ya que, las bacterias capaces de realizar cada una de las fases están ampliamente distribuidas en la naturaleza. No obstante, en la práctica, es muy útil aislar y conocer la microflora particular presente en cada reactor para solucionar situaciones que inhiben la producción de metano.

Un sustrato más estudiado y sencillo por su composición como es el lactosuero, se ha conseguido aislar e identificar la mayoría de las bacterias de las distintas etapas para caracterizar y entender con mucho más detalle el proceso lo que nos da una visión detallada en cuanto a las fases, productos metabólicos, microorganismos que intervienen en cada etapa y al mismo tiempo servirnos como modelo para el estudio y descripción de la microbiología utilizando residuos mucho más complejos como los producidos por un matadero.

Las metanobacterias sólo pueden multiplicarse cuando está muy avanzada la fermentación por la acción de bacterias anaerobias facultativas (*Enterobacter*, *Klebsiella* o *Bacillus* spp) y se haya consumido todo el oxígeno disuelto.

Por otra parte, se ha demostrado que se puede aumentar el rendimiento de digestores añadiendo precisamente en la fase de acidogénesis ciertas proporciones de *Bacillus spp* ya que pueden producir enzimas hidrolíticas que excretan al medio y así aumentan la degradación de materia orgánica y por lo tanto una mayor disponibilidad de moléculas de bajo peso molecular imprescindibles para los siguientes pasos de la digestión.

Al mismo tiempo, si conocemos y controlamos la flora metanogénica de un digestor podemos estudiar la influencia que tiene en su crecimiento las concentraciones de metales pesados, rango de pH, afinidad por el acetato, temperaturas óptimas de crecimiento, cinéticas de crecimiento así como otros componentes que puedan afectar directa o indirectamente a cada tipo de bacteria y por lo tanto al rendimiento del birreactor.

Es necesario, pues, investigar la bioquímica que subyace en todo el proceso de DA, conocer cuáles son las poblaciones bacterianas dominantes en cada una de las diferentes etapas de la DA, hacer hincapié en la mejora en las condiciones operacionales mediante el uso de tecnologías de separación de etapas, análisis de la cinética del proceso (Merkel, 1996; Borja, 2005) y, finalmente, profundizar en la búsqueda del modelo matemático que describa adecuadamente la evolución de dichas poblaciones así como conocer el efecto de las variaciones operacionales de la planta, tanto de índole técnica como ecológica, para su control (Batstone, 2002; Heinricher 1995). La biodegradación de la materia orgánica para formar metano y dióxido de carbono requiere de la interacción de múltiples y distintas especies bacterianas. Dichas interacciones se conocen de forma muy superficial y será necesario realizar trabajos de investigación en esta dirección para poder entender mejor la cinética de dichas reacciones bioquímicas.

La modelación matemática del proceso de DA permite predecir, cuantificar y optimizar los procesos industriales realizando una simulación de los mismos, lo cual hará posible el correcto dimensionado de plantas a gran escala. Además permite simular los efectos producidos por los accidentes medioambientales, obtener resultados más comparables y compatibles.

Se han desarrollado numerosos modelos para el proceso de DA (Heinricher, 1995) sin embargo, la mayor parte de ellos no han sido aplicados a los procesos industriales debido a su excesiva complejidad, por ello, el modelo que se pretende desarrollar en este proyecto intentará ser lo más simple posible, teniendo en cuenta solo aquellos aspectos más relevantes de la DA, con el objeto de hacerlo más manejable y útil.

2.3. El equipo de concentración solar con motor Stirling.

En el proyecto se trata de optimizar el proceso de producción eléctrica a través del biogás producido y la utilización de un sistema que convierte la radiación solar en energía eléctrica, denominado EnviroDish, con equipo de apoyo que utilizará gas natural caso de que sea necesario, con el fin de poder disponer de una producción continua de energía eléctrica.

El sistema EnviroDish que se utilizará consta de:

1. Anillo de Cimentación.

El anillo de cimentación es el apoyo del conjunto principal y proporciona la superficie sobre la que éste se desplaza. Tiene forma hexagonal y está fabricado en hormigón armado (aprox. 10.5 m³ de cemento y 540 kg de acero). Sus dimensiones son: Radio máximo hexágono exterior: 4130 mm. Profundidad: 300 mm. Radio hexágono interior: 1000 mm. Ancho: 850 mm.

La superficie superior del hexágono exterior constituye el camino de rodadura para el conjunto principal, por lo que las tolerancias en altura son muy exigentes (± 5 mm para cualquier punto de la superficie).

2. Estructura soporte

La estructura móvil soporta el motor y el concentrador y permite el seguimiento de la trayectoria del sol. Está constituida por una celosía, compuesta por rótulas y barras que transmiten la carga sobre las rótulas, evitando así los momentos de flexión y torsión y proporcionando ligereza a la estructura.

3. Concentrador solar

Su función es captar y concentrar la radiación solar. Está formado por ocho segmentos reflectivos a base de espejos de vidrio fino (0,8 mm de espesor) adheridos a un soporte de fibra de vidrio. Los segmentos se unen entre sí por medio de otras tantas costillas, también de fibra de vidrio, para obtener la geometría fina de un paraboloide de revolución. El concentrador se monta sobre un anillo de sujeción a base de celosías similares a las que componen la estructura soporte. Las características principales del concentrador son:

Diámetro de la apertura: 8,5 m. Área de captación: 56,7 m². Factor de concentración: 2500. Reflectividad: 94%.

4. Sistema de control y seguimiento.

El sistema de control y seguimiento permite al sistema mantener la orientación correcta en todo momento. La mayor parte de los elementos del sistema de control se encuentran en un armario contiguo al anillo de cimentación en su lado norte.

Las características más destacadas del sistema de seguimiento son:

- Suspensión: Azimutal.
- Máxima velocidad del viento permitida durante operación: 65 km/h.
- Máxima velocidad viento permitida en la posición de reposo: 160km/h.
- Seguimiento solar: Mediante motores eléctricos tipo servo de 230V.
- Velocidad máxima: 60°/min.
- Motor de emergencia: Motor eléctrico de 24V de corriente continua.
- El sistema de control del EnviroDish consta de los siguientes componentes principales:
 - Ordenador central ubicado en la habitación del operador con receptor de GPS y comunicación a través de interBus-S.
 - Armario situado en campo, donde se alojan los distintos controladores y las regletas de conexión.

5. Controlador de la unidad de conversión de potencia.

El sistema de control requiere los valores de radiación solar y velocidad del viento. Si estos valores se encuentran dentro de los límites predefinidos, el sistema funciona normalmente, transfiriéndose los cálculos de posiciones y velocidades al Controlador de Movimiento, ubicado en el armario, por vía InterBus-S, un bus de campo industrial. Al mismo tiempo, el programa de control Stirling se ejecuta en el PC. El controlador Stirling, comienza localizando la Unidad de Conversión de Potencia (UCP), comunicada con el PC también vía InterBus. Con los datos medidos (presiones y temperaturas) adquiridos para controlar el sistema Stirling, el programa de control Stirling inicia y para el motor y calcula la presión del motor deseada. Los datos se transmiten al controlador de campo, situado en la UCP, que ejecuta los comandos y controla la presión del motor mediante la activación de las válvulas.

6. Unidad de Conversión de Potencia.

La Unidad de Conversión de Potencia integra los siguientes elementos: Receptor solar, motor Stirling, alternador, subsistemas auxiliares y de control. (Fig. 2)



Figura 2. Unidad de conversión de potencia del sistema EnviroDish

6.1 Receptor solar.

El receptor es el elemento de interfaz entre el concentrador y el motor Stirling (Fig. 3). Su función es absorber la radiación solar y transferirla, en forma de energía térmica, al motor Stirling de la forma más eficiente posible. El receptor del sistema EnviroDish es de tipo tubular, y se conecta directamente a las cabezas de los cilindros del motor. Está compuesto de tubos muy finos (aprox. 3 mm de diámetro) resistentes a las altas temperaturas de operación (hasta 800°C, con el gas de trabajo llegando a 650°C).

Los sistemas de disco parabólico con motor Stirling son también adecuados para la operación híbrida, en la que la radiación solar se complementa con un combustible fósil o biogás. En este caso, el receptor solar debe estar diseñado para permitir dicha operación.



Figura 3. El receptor solar del sistema EnviroDish

6.2 Motor Stirling

El ciclo Stirling es un ciclo termodinámico de alto rendimiento con aporte de calor externo, lo que permite su operación con cualquier tipo de combustible o fuente energética, siendo, por sus características, especialmente adecuado para la conversión termoeléctrica de la energía solar.

El motor Stirling tiene dos cilindros en V a 90°, con un pistón de expansión y otro de compresión (Fig. 4). El receptor solar, el regenerador y el enfriador de gas se sitúan entre los pistones.

El motor opera según un ciclo cerrado en el que el gas de trabajo (H_2) se somete a procesos de calentamientos y enfriamientos alternativos. Cuando se calienta, el gas se expande y transmite trabajo mecánico al cigüeñal a través de los pistones.

La energía concentrada por el paraboloide de revolución se transfiere al gas de trabajo a través del receptor. En este sistema cerrado, el pistón de compresión hace que el gas pase de un cilindro a otro, mientras que el pistón de expansión realiza el trabajo útil. El regenerador, que actúa como un sistema de almacenamiento intermedio, retiene la mayor parte del calor cedido por el gas en su paso de la zona caliente a la fría. El enfriador reduce aún más la temperatura del gas en la zona fría. Cuando el gas vuelve a la zona caliente, pasa a través del enfriador y del regenerador, recuperando la mayor parte del calor cedido en el proceso anterior.

La operación del motor de controlar por medio de un sistema electrónico, controla la presión del gas de trabajo en función de la radiación solar, de forma que la temperatura del receptor se mantenga constante.

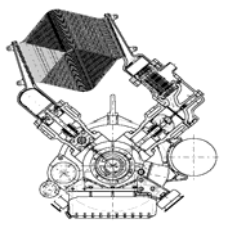


Figura 4. Esquema del motor con el receptor solar.

Las características técnicas del motor Stirling se resumen en la Tabla 2.

Tipo	Dos cilindros en V a 90°
Cilindrada	160 cm ³
Peso	430 kg
Gas de trabajo	Hidrógeno
Presión de trabajo	20-150 bar
Potencia eléctrica bruta máxima	9,8 kW
Potencia neta	9,2 kW
Velocidad nominal	1500 rpm
Conexión eléctrica	400 V, 50 Hz, 3 fases

Tabla 2. Principales características de la Unidad de Conversión de Potencia Stirling

Los principales componentes del sistema completo de conexión radiación solar-motor Stirling pueden apreciar en la Fig. 5.

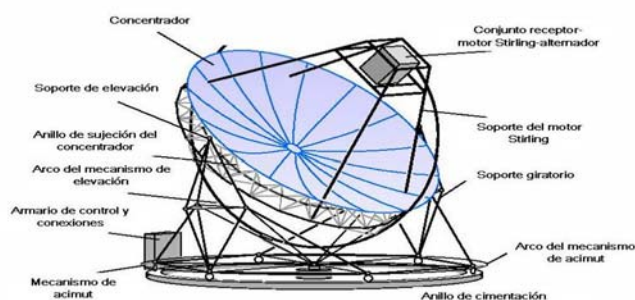


Figura 5. Esquema de un sistema disco parabólico – Stirling

3. Actividades.

El presente proyecto pretende abordar los siguientes objetivos:

- 1.-Caracterización de los residuos del matadero
 - 1.1 Composición media de los residuos.
 - 1.2 Grado de contaminación de dichos residuos: Medida de la DQO y la DBO₅.
- 2.-Determinación de las condiciones óptimas del proceso de DA.
 - 2.1 Control de la temperatura de reacción.
 - 2.2 Concentración óptima de la mezcla de residuos.
 - 2.3 Grado de humedad óptimo.
 - 2.4 Control del pH.
 - 2.5 Determinación del TRH.
- 3.-Estudio exhaustivo de la bioquímica del proceso de DA.
 - 3.1 Caracterización microbiológica. Determinación de las poblaciones bacterianas predominantes en cada etapa de la DA.
 - 3.2 Estudio de la cinética de las reacciones bioquímicas.
- 4.-Modelación matemática del proceso.
- 5.-Diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de una planta piloto de DA de los residuos sólidos y líquidos del matadero de la empresa Jamón y Salud.
- 6.-Monitorización y control de dicha planta.
- 7.-Diseño, construcción y puesta en marcha del disco concentrador solar parabólico con motor Stirling.
- 8.-Análisis energético de la combinación biogás-solar térmica, para la producción de energía eléctrica a través de un motor Stirling.
- 9.-Optimización de los rendimientos energéticos.
- 10.-Análisis sobre la viabilidad económica del proyecto.

4. Esquema temporal de actividades.

Las actividades que se desarrollarán en el proyecto son las siguientes y siguen el orden cronológico de aplicación (tabla 3)

ACTIVIDAD
Caracterización de los residuos del matadero
Determinación de las condiciones óptimas del proceso de digestión anaerobia.
Análisis microbiológico
Modelación matemática
Diseño, construcción, montaje y

puesta en marcha de una planta piloto de DA
Monitorización y control de la planta.
Diseños, construcción, montaje y puesta en marcha del concentrador solar parabólico con motor Stirling.
Análisis energético de la combinación biogás-solar térmica
Optimización de los rendimientos energéticos.
Análisis de la viabilidad económica del proyecto.

Tabla 3. Orden cronológico de las actividades a llevar a cabo.

5. Resultados previsibles.

Como se ha dicho anteriormente, este proyecto se plantea con tres fines fundamentales:

- 1.- Cuantificar la máxima descontaminación alcanzada con la técnica de digestión anaerobia.
- 2.- Cuantificar la máxima producción de biogás.
- 3.- Optimizar la producción de electricidad, mediante la hibridación del biogás generado y la energía solar térmica de concentración, convirtiéndose en una central de producción eléctrica gestionable y que sirva de apoyo a la política europea sobre generación distribuida.

Los resultados previsibles del proyecto serían:

- Disminución de la carga contaminante generada por un matadero industrial entre el 60 - 75%.
- Se espera que la fracción líquida de los lodos resultantes de la DA puedan usarse como agua de riego. Respecto a la fracción sólida de dichos lodos, se verá la posibilidad de usarlos como enmendante agrícola tras un proceso de compostaje.
- Producción de biogás entre 12 y 30 Nm³/m³ de substrato efluente del matadero.
- Producción diaria de biogás entre 6 Nm³ y 12 Nm³, con un contenido volumétrico de metano entre el 70-80%, según el volumen de biodigestor estimado anteriormente de 6,2 m³ (téngase este dato en cuenta para el resto de cálculos realizados)
- Producción diaria de energía térmica procedente del biogás, considerando el menor porcentaje de metano (70%), entre 42 y 84 kWh térmicos. Parte de esta energía calorífica se empleará para mantener la temperatura del biodigestor en el entorno de los 37°C, que se prevé que varíe entre 4.200 y 6.100 kWh térmicos al año. El exceso previsible de energía térmica que puede usarse como calor de proceso dentro del propio matadero se sitúa entre 1.400 y 8.900kWh térmicos/año.
- Producción anual de electricidad procedente del biogás entre 4,5 y 8 MWh.

- La estimación sobre la producción de electricidad procedente de la concentración de la energía solar a través del disco parabólico sería de unos 50 MWh anuales.
- El estudio de viabilidad económica se hará en su día, una vez obtenidos los resultados definitivos del proyecto, así como las primas a la producción de electricidad de origen renovables que, en su momento, estén vigentes. Resultados previos obtenidos por el grupo de investigación DTERMA relativos a un estudio sobre la viabilidad económica de una planta de DA asociada al matadero de Badajoz (56m³/día de efluentes), dan unos periodos de retorno de la inversión en el entorno de los 6 años. Se espera que con la optimización de la producción de electricidad mediante la conexión biogás-solar térmica nos arroje periodos de retorno aún menores.

6. Referencias.

- Batstone, D.J., Keller, J., Angelidake, I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H., and Vavilin, V.A., 2002. Anaerobic Digestion Model No.1. IWA Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Processes, IWA Publishing.
- Borja, R., Martín, A., Sánchez, E., Rincón, B. and Raposo, F. Kinetic modelling of the hydrolysis, acidogenic and methanogenic steps in the anaerobic digestion of two-phase olive pomace. *Process Biochemistry*, 40(5), 1841-1847 (2005).
- Bouallagui, H., Haouari, O., Touhami, Y., Ben Cheikh, R. Marouani, L. and Handi, M. Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. *Process Biochemistry*, 39(12), 2143-2148 (2004).
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheikh, R. and Handi, M. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Process Biochemistry*, 40(3-4), 989-995 (2005).
- Borja, R. Rincón, B., Raposo, F., Alba, J. and Martín, A. A study of anaerobic digestivity of two-phases olive mill solid waste (OMSW) at mesophilic temperature. *Process Biochemistry*, 38(5), 733-742. (2002).
- Cuadros, F., Muñoz-Rodríguez, F., Marcos. A., Marques, I.P., and López-Rodríguez, F. (2006). Anaerobic codigestion of solid and liquid industrial meat effluents. *Process Biochemistry*. Enviado para su publicación (2008).
- Cuadros, F., Marcos. A., Carrasco, F. and López-Rodríguez, F. (2006). Cost-effectiveness of a cogeneration (power and heat) plant using biogas. *Renewable Energy*. Enviado para su publicación (2008).
- Ergüder, T.H., Güven, E, and Demirer, G. N. Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactor process. *Process Biochemistry*, 36(3), 243-248 (2000).
- Heinricher, A., Lenhart, S., Solomon, A., 1995. The application of optimal control methodology to a well-stirred bioreactor. *Natural resource modelling*, 9, 1, 61-80.
- Junta de Extremadura. Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural. Secretaría General, 2007.
- Merkel, W., Schwarz, A., Fritz, S., Reuss, M. and Krauth, K. New strategies for estimating kinetics wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 34(5-6), 393-401 (1996).
- Sosnowski, P., Wieczorek, A. and Ledakowicz, S. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes. *Advances in Environmental Research*, 7(3), 609-616 (2003).

Yilmazer and Yenigün. Two phase anaerobic treatment of cheese whey. Water Science and Technology, 40(1), 289-295 (1999).

Correspondencia.

Almudena González González
Departamento de Física Aplicada. Escuela de Ingeniería Industriales
Av. de Elvas s/n 06071 Badajoz
Phone: 685 764 503
E-mail : publiogo@hotmail.com