

MONITORIZACIÓN EN LÍNEA DE AGV PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DE PLANTAS DE BIOGÁS (PROYECTO AD-WISE)

EL PROYECTO EUROPEO AD-WISE HA DESARROLLADO EL PRIMER SISTEMA PARA CONTROLAR EN CONTINUO, DURANTE LAS 24 HORAS DEL DÍA, LA ESTABILIDAD DE LAS PLANTAS DE BIOGÁS AGROINDUSTRIAL. DE ESTE MODO, SE EVITAN COSTOSOS PAROS EN LA PRODUCCIÓN. PUEDE LLEGAR A AHORRAR MÁS DE 20.000 € AL AÑO EN AQUELLAS INSTALACIONES QUE UTILICEN RESIDUOS ORGÁNICOS CAMBIANTES COMO ALIMENTO, Y PERMITE REALIZAR RECOMENDACIONES PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN.

La digestión anaerobia de residuos agroalimentarios es una alternativa sostenible para producir energía renovable (biogás). En Europa existen unas 10.000 plantas de biogás, con una potencia total instalada de 5.000 MW (fuente: Ecoprog). En los últimos años se han desarrollado investigaciones centradas en la optimización de la digestión anaerobia y la mejora de su control, especialmente en plantas donde el sustrato es variable.

El parámetro más fiable para el control del proceso de digestión anaerobia son los ácidos grasos volátiles (AGV) individuales, es decir, la concentración de acetato, propionato, butirato y valerato. Este parámetro permite conocer el estado del proceso, así como predecir y evitar su mal funcionamiento, lo que no es posible con otros parámetros (pH, composición del biogás, etc.). La técnica actualmente disponible para medir AGV individuales es la cromatografía de gases (CG), que se realiza en laboratorios externos, ya que las plantas de biogás no tienen cromatógrafos ni especialistas en esta técnica. Esto implica un lapso de tiempo entre el muestreo y los resultados, por lo que muchas veces la medida ya no es válida para la optimización del proceso y no puede ser utilizada para evitar paradas del proceso por acidificación.

El proyecto AD-WISE pretende desarrollar un nuevo sistema de control basado en la monitorización continua de los AGV individuales mediante técnicas espectroscópicas, que actuará sobre la regulación de la alimentación de las plantas de biogás. En comparación con las técnicas cromatográficas clásicas, los espectrofotómetros son fiables, económicos y fáciles de utilizar, y no requieren personal especializado.

Después de dos años, el proyecto AD-WISE está ahora en su última fase, tras varias etapas de investigación en laboratorio en las cuales el equipo ha desarrollado el analizador, los modelos matemáticos y el software para obtener e interpretar las mediciones en tiempo real. Con estos resultados, el primer prototipo fue construido por Fraunhofer-IPMS en Dresde (Alemania), y probado en las plantas piloto de digestión anaerobia de AINIA en Valencia (España). Ahora, un prototipo adaptado a la escala industrial está siendo ensayado en la planta de biogás industrial de la Granja San Ramón en Requena (España). El proyecto AD-WISE ha recibido financiación del Séptimo Programa Marco de la Unión Europea gestionado por la Agencia Ejecutiva de Investigación (REA – Research Executive Agency) (FP7/2007_2013) con el contrato N. 315115. Además del centro tecnológico AINIA (España) que actúa como coordinador, el proyecto tiene cuatro socios europeos: Fraunhofer IPMS (Alemania), Granja San Ramón (España), Interspectrum (Estonia) y The National Microelectronics Applications Centre (Irlanda).

Métodos para controlar el proceso de digestión anaerobia

El control y optimización de plantas de digestión anaerobia es un aspecto clave que ha sido y todavía es uno de los principales temas de investigación en este campo. La digestión anaerobia es un

ON-LINE MONITORING OF VFA TO OPTIMISE THE OPERATION OF BIOGAS PLANTS (AD-WISE PROJECT)

THE EUROPEAN AD-WISE PROJECT TEAM HAS DEVELOPED THE FIRST SYSTEM FOR CONTINUOUS 24-HOUR-A-DAY CONTROL OF THE STABILITY OF AGRO-INDUSTRIAL BIOGAS PLANTS. THIS WILL PREVENT COSTLY PRODUCTION DOWNTIME AND RESULT IN SAVINGS OF OVER €20,000 PER YEAR AT FACILITIES THAT USE VARIABLE ORGANIC WASTE AS FEED MATERIAL. THE SYSTEM ALSO PROVIDES RECOMMENDATIONS FOR THE OPTIMISATION OF PRODUCTION.

Anaerobic digestion (AD) of agro-food waste is a sustainable alternative to produce renewable energy in the form of biogas. Around 10,000 biogas plants are currently working across Europe with a total installed power output of 5,000 MW (source: Ecoprog). In recent years, research trends have focused on the optimisation and improved control of anaerobic digestion, especially in plants where the substrate is variable.

The most reliable parameter to control the anaerobic digestion process is the concentration of single volatile fatty acids (SVFA), i.e., the concentration of acetate, propionate, butyrate and valerate. This parameter allows tracking of the process state and the prediction and prevention of process malfunction, which is not possible with other parameters (pH, biogas composition, etc.). The currently available technique to measure SVFA is gas chromatography (GC), which is done off-line in external laboratories, because plants neither have GC equipment nor GC specialists. This implies a time gap between the sampling and the results, so sometimes the measurement is no longer valuable for process optimisation and cannot be used to avoid biogas plant downtime due to acidification.

The AD-WISE project aims to develop a new control system based on continuous VFA monitoring through spectroscopic techniques that will act on the feed regulation of biogas plants. In comparison with classical chromatographic techniques, spectrophotometers are reliable, cost-effective and very easy-to-handle, and they do not require specialized staff.

After two years, the AD-WISE project is now in its final stage, after several stages of laboratory research in which the team developed the measurement equipment, mathematical models and software to obtain and interpret the measurements in real-time. With these results, the first prototype was constructed by Fraunhofer-IPMS in Dresden, Germany, and tested in the anaerobic digestion pilot plants of AINIA in Valencia, Spain. Now, a prototype adapted to industrial scale is being tested at the Granja San Ramón biogas plant in Requena (Spain). The AD-WISE project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme managed by the REA – Research Executive Agency



Figura 1. Planta de biogás a escala industrial de la Granja San Ramón, donde el prototipo industrial de AD-WISE está siendo ensayado.
Figure 1. Full scale biogas plant at the Granja San Ramón, where the industrial prototype of AD-WISE is being tested.

proceso biológico en el que participa una gran cantidad de microorganismos diferentes. Estos consorcios microbianos son distintos dependiendo del sustrato y las condiciones operacionales, y pueden variar a lo largo del tiempo incluso dentro del mismo digestor. Para que el proceso de digestión anaerobia esté optimizado se precisa un equilibrio entre los consorcios microbianos, así como mantener las condiciones de crecimiento. Esto no es trivial, ya que estos microorganismos tienen diferentes velocidades y condiciones óptimas de crecimiento. Además, los metabolitos de algunos de estos microorganismos pueden resultar dañinos para el resto si sus concentraciones aumentan en exceso.

El control e instrumentación en plantas de biogás está poco extendido. Los únicos parámetros que se monitorizan y registran de forma continua son la temperatura del digestor y las características del biogás (caudal, concentración de metano y de sulfuro de hidrógeno). En algunas plantas, el pH también se mide, normalmente con equipamiento off-line. Existe equipamiento comercialmente disponible para medir todos estos parámetros. Sin embargo, no permiten llevar a cabo un control efectivo de la planta, ya que estos parámetros no proporcionan suficiente información del proceso, y por tanto no se puede automatizar. Esto puede llevar a dos posibles situaciones: a) El operador maneja la planta de forma conservadora para evitar un desequilibrio del proceso y la planta está infrautilizada, o b) El operador trata de maximizar la producción de biogás y se arriesga a la acidificación y parada del proceso. Una parada del proceso significa que la planta no genera electricidad en el periodo de tiempo que se requiere para volver al estado estacionario, y la digestión anaerobia es un proceso lento que tarda 2-3 meses para alcanzar dicho estado tras una perturbación. Por este motivo, una parada implica pérdidas económicas significativas para las plantas de biogás que pueden poner en peligro su viabilidad, especialmente en plantas pequeñas. Dependiendo de los ingresos obtenidos de la energía, una parada del proceso puede significar hasta 20.000 € de pérdidas.

Como entradas para el control de proceso se requieren parámetros que puedan predecir fallos en el sistema. Esto es aún más importante en procesos de gran inercia como la digestión anaerobia. Como salida, el único parámetro que puede ser fácilmente modificado para el control del proceso en una planta de digestión anaerobia es el caudal de alimentación. Se han propuesto diversos parámetros como entradas en el control de la digestión anaerobia, siendo los más comunes el caudal y composición del biogás, el pH, los AGV totales o los AGV individuales. Entre ellos, los AGV individuales son los más apropiados ya que pueden predecir un fallo del proceso. Estudios previos (Carrasco et al., 2004; Ward et al., 2008) han señalado que, mientras que el pH, concentración de metano, AGV totales u otros parámetros reaccionan cuando el proceso ya no se puede recuperar, los AGV individuales reaccionan varios días antes (Boe et al., 2007), permitiendo al operador (o al sistema de control) introducir las modificaciones necesarias en la alimentación para evitar la parada total de la planta. Esto es especialmente importante en plantas de biogás con alimentación variable.

El sistema más común para medir AGV individuales es la cromatografía de gases (CG). Con este método, los AGV individuales pueden determinarse con gran precisión. Sin embargo, este método requiere un pre-tratamiento intensivo de la muestra, lo que implica mantenimiento específico, y se precisa un equipamiento caro y personal formado y especializado.

AD-WISE pretende desarrollar un equipo en línea capaz de obtener mediciones de AGV individuales en tiempo real, basado en técnicas ópticas, e integrar estas medidas en el sistema de control de la planta de digestión anaerobia para optimizar el proceso (maximizar la producción de biogás manteniendo la estabilidad del proceso). La elección de una técnica óptica en vez de CG para medir los AGV individuales permitirá simplificar el sistema para adaptarlo a las plantas de biogás, así como reducir su coste.

<http://ec.europa.eu/research/rea> (FP7/2007_2013) under Grant Agreement N.315115. In addition to the project leader, the AINIA Technology Centre (Spain), the project has four European partners: the Fraunhofer IPMS (Germany), Granja San Ramón (Spain), Interspectrum (Estonia) and The National Microelectronics Applications Centre (Ireland).

Methods to control the anaerobic digestion process

Control and optimisation of AD plants is a key issue and it has been and still is one of the main research topics in this field. AD is a biological process in which a number of different microorganisms take part. These microbial consortia are different depending on the substrate and the operating conditions, and can vary throughout time even in the same digester. The AD process will be optimised as long as equilibrium between microbial consortia and growing conditions is achieved. This is not a simple issue, since these microorganisms have different growing rates and optimal growing conditions. Moreover, the metabolites of some of these microorganisms can become harmful for the rest if their concentration increases too much.

Instrumentation and control at biogas plants is currently scarcely implemented. The only parameters that are continuously measured and recorded are the temperature of the digester and the biogas characteristics (flow, methane content and hydrogen sulphide concentration). In some plants, pH is measured as well, using off-line equipment. Commercial equipment is available to measure all these parameters. Nevertheless, these parameters do not allow effective control of the plant, since they do not provide enough information on the process and, therefore, cannot be employed for automation. This can lead to two possible situations: a) The plant is operated in a conservative way to avoid process imbalance and the plant is underused, or b) The operator tries to maximise biogas production, and runs a high risk of acidification and process interruption. An interruption in the process means that the plant is not generating electricity for the period of time it requires to be fully operational again, and AD is a slow process that takes 2-3 months to reach a steady state after a disturbance. For that reason, a stop in operation implies significant economic losses to biogas plant operators that can jeopardise their business, especially in the case of small and medium-sized biogas plants. Depending on the income obtained from the energy, a process stop can mean losses of as high as €20,000.

As inputs for process control, parameters which can predict system failure are preferred. This is even more important in processes with high inertia, such as anaerobic digestion. As output, the only parameter that can be easily changed for process control in an anaerobic digestion plant is the feed rate. Several parameters have been postulated as inputs for anaerobic digestion control, the most common being the biogas flow and composition, pH, total VFA or single VFA. Of these, the most suitable parameters for process control are SVFA parameters, because they can predict process failure. Previous studies (Carrasco et al., 2004; Ward et al., 2008) have shown that, while pH, methane concentration, total VFA or other parameters react when the process has already failed, SVFA react several days before (Boe et al., 2007), allowing the operator –or the control system– to introduce the necessary modifications in the feed to avoid complete system failure. This is especially important in biogas plants with variable feeding.

The most commonly used method for SVFA determination is gas chromatography (GC). With this method, the single VFA can be determined with a high degree of accuracy. However, this method implies quite complex sample pre-treatment, involving specific maintenance, as well as the use of very expensive GC equipment that must be operated by highly trained, specialised staff.



LYON
EUREXPO FRANCIA
2 > 5 diciembre 2014

26° Sal6n internacional de
equipamientos, tecnologas y servicios
para el medioambiente

www.pollutec.com

Organizado por

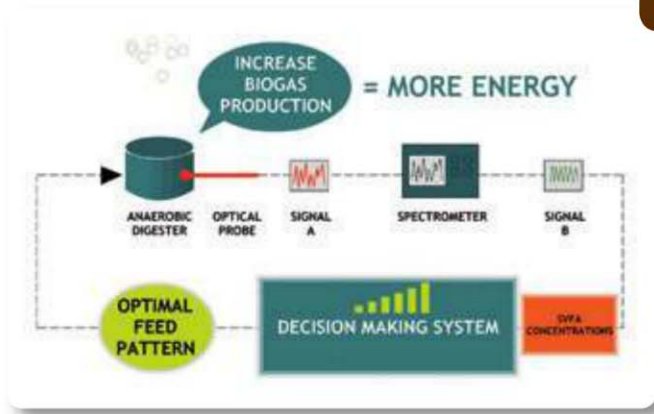
 Reed Expositions

Contacto expositores :
Olga PONS - GPE
Tel: 00 34 9 3 424 40 00 - e-mail : gpe@gpexpa.com

Contacto visitantes :
Servicom Consulting & Marketing
Tel: 00 34 91 451 80 95 - e-mail : servicom@servicomconsulting.com

En asociaci6n
con





El nuevo sistema permitirá reducir el coste de operación de las plantas de biogás evitando paradas de proceso, y obtener un mejor control del proceso gracias a la medición en continuo de los AGV individuales y las recomendaciones para la operación proporcionadas por el sistema.

El sistema AD-WISE

El equipo del proyecto AD-WISE ha desarrollado un prototipo para el control y automatización de plantas de biogás. Tiene dos partes: 1) analizador en continuo de AGV individuales con técnicas espectroscópicas y 2) software de control que aconseja al operador de la planta sobre las condiciones de operación para evitar la acidificación.

La parte principal del sistema es un espectrómetro con un cabezal especialmente diseñado para automatizar las mediciones. El sistema toma una muestra del digestor periódicamente. Esta muestra pasa por una etapa de filtración para retirar las partículas grandes que podrían dañar el analizador. Tras este paso la muestra se dirige al espectrómetro sin más tratamiento, y se desecha tras la medición. Un ciclo de limpieza con agua se realiza automáticamente antes y después de la medición.

Los espectros obtenidos se transforman en concentraciones de AGV individuales. De acuerdo con estos valores, el software recomienda al operador de la planta las acciones necesarias para corregir el caudal de alimentación si es necesario.

Resumen

Se ha desarrollado un prototipo de un nuevo sistema de control para plantas de biogás, que permitirá evitar paradas de proceso que pueden suponer pérdidas económicas de hasta 20.000 €. El sistema se basa en un nuevo método de medición de ácidos grasos volátiles individuales (el único parámetro predictivo de la digestión anaerobia, y por tanto el único fiable para un control seguro), simple y fácil de usar, que permite obtener los resultados en segundos, en vez de los tiempos de espera de días o semanas cuando este parámetro se mide off-line en un laboratorio externo. El sistema está concebido como un apoyo a la toma de decisiones del operador de la planta de biogás, aconsejando cómo regular el caudal de alimentación en función de los resultados de la medición en tiempo real de los AGV individuales.

Referencias / References

Carrasco E.F., Rodríguez J., Puñal A., Roca E., Lema J.M. (2004). Diagnosis of acidification states in an anaerobic wastewater treatment plant using a fuzzy-based expert system. *Control Engineering Practice* 12(1) 59-64. Project FAIR-CT 96-1198 (AMOCO).
 Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., Jones, D.L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology* 99(17) 7928-7940.
 Boe K., Steyer J.P., Angelidaki I. (2007). Monitoring and control of the biogas process based on propionate concentration using online VFA measurement. 11th IWA World Congress on Anaerobic Digestion, 23-27 September 2007, Brisbane, Australia. EU Contract MEIF-CT-2005-009500 (CONTROL-AD4H2).

AD-WISE aims to develop an on-line device to obtain real time SVFA measurements based on optic techniques and to integrate these measurements in the control system of the AD plant in order to optimise the process (maximise biogas production while maintaining process stability). The choice of an optic technique instead of GC to measure SVFA will allow simplification of the system in order to make it suitable for biogas plants, whilst also reducing the cost.

The new system will allow a reduction in the operating costs of biogas plants (prevention of process interruptions), whilst providing better process control thanks to the continuous measurement of VFA and the recommendations for operation given by the system.

The AD-WISE system

The AD-WISE project team has developed a prototype for biogas plant control and automation. It consists of two main parts: 1) continuous measurement of SVFA concentration by spectroscopic techniques and 2) control software that advises the biogas plant operator about the operating conditions of the biogas plant in order to avoid acidification. The core of part of the system is a spectrometer with a specially designed head for the purpose of automating the measurements. The system takes a sample periodically from the anaerobic digester. This sample undergoes a first step of filtration to remove the bigger particles that could harm the measuring equipment. After this step, the sample goes directly to the spectrometer without further treatment, and is discarded after the measurement. A cleaning cycle with water starts immediately before and after the measurement. The obtained spectra are then transformed into SVFA concentrations. In accordance with these values, the software recommends the biogas plant operator to take actions to correct the feed flow if necessary.



Figura 3. Prototipo AD-WISE instalado en la planta de biogás de Granja San Ramón. Figure 3. AD-WISE prototype installed in the biogas plant of Granja San Ramón.

Summary

A prototype of a new control system for biogas plants has been developed that will enable the prevention of process interruptions that can result in economic losses up to €20,000. The system is based on an innovative method of measuring single volatile fatty acids (the only predictive parameter of anaerobic digestion and, therefore, the only reliable parameter for safe control) that is simple and easy to use. It enables results to be obtained in seconds, as opposed to waiting times ranging from days to weeks when this parameter is measured offline in an external laboratory. The system is conceived as a decision-making support tool for the biogas plant operator and it provides advice on how to regulate the feed flow depending on the real time measurement of the single volatile fatty acids.