

# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGIA DE DIGESTION ANAEROBIA DE RESIDUOS SOLIDOS

F. Fdz-Polanco; M Fdz-Polanco; P.A. García Encina

*Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Valladolid. Doctor Mergelina s/n. 47011 Valladolid. España*

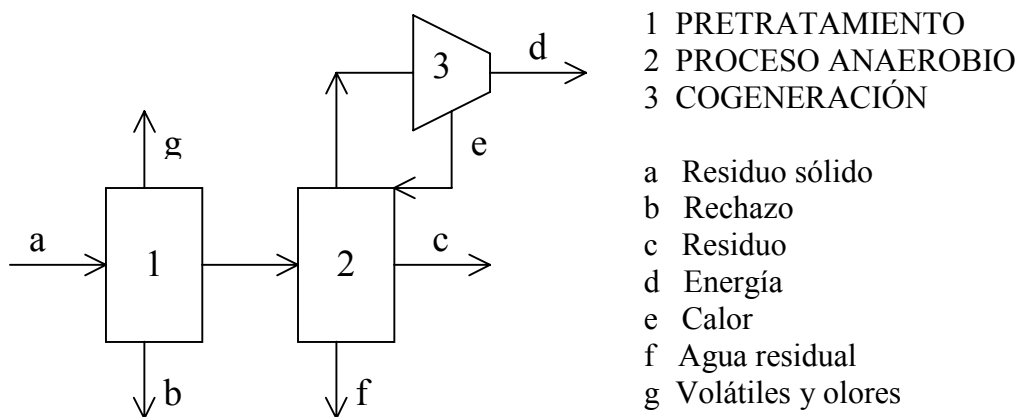
## RESUMEN

La digestión anaerobia de residuos sólidos con objetivo energético de producción de biogas y ambiental de minimización de la cantidad de residuo final, está experimentando un notable auge. Como en toda aplicación industrial es preciso realizar una adecuada selección de tecnología con base en el conocimiento de las bases del proceso. Se discute y analiza la influencia de las características de la alimentación, del tamaño y forma de las partículas sólidas, de los procesos de pretratamiento, con especial énfasis en las diferentes posibilidades de hidrólisis y se repasan las principales componentes tecnológicas: concentración de sustrato (vía seca o húmeda), temperatura (mesófilo o termófilo), forma de alimentar (continuo o discontinuo), separación de fases (mono o multietapa) y modelo de flujo (mezcla completa o pistón).

## ANTECEDENTES

La aplicación tradicional del proceso anaerobio en el campo de los residuos sólidos ha sido la digestión de los fangos aerobios producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. En los últimos años el sector de la digestión de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), con objetivo energético de producción de biogas o ambiental de minimización y valorización del residuo final, está experimentando un crecimiento espectacular.

El esquema convencional de un proceso de biometanización de un residuo sólido es:



**Figura 1.** Diagrama de bloques de un proceso de digestión anaerobia de un residuo sólido.

## CARACTERÍSTICAS DE LA ALIMENTACIÓN

Los parámetros a cuantificar y sus implicaciones tecnológicas aparecen en la tabla 1. Se detectan carencias de información en cuanto a la normalización de ensayos de biodegradabilidad y a interpretación de la repercusión tecnológica de las proporciones de fracciones rápida y lentamente biodegradables.

**Tabla 1.** Relación entre características de la alimentación y parámetros tecnológicos

% ST; % SV.	⇒ (2), (4)*
% Biodegradabilidad: % de fracción rápidamente biodegradable	⇒ (1)
% de fracción lentamente biodegradable.	⇒ (3)
% Inertes	⇒ (1), (2)
Relación C/N. Nutrientes.	⇒ (5)
Tamaño y forma de las partículas sólidas.	⇒ (2)

\* (1) Rendimiento global del proceso; (2) Intensidad y tipo de pretratamiento; (3) Separación de fases; (4) Tipo de tecnología anaerobia (seca-húmeda). (5) Pos-tratamiento.

## TAMAÑO Y FORMA DE LAS PARTÍCULAS

La hidrólisis o licuefacción de la materia orgánica sólida es la primera etapa, obligada, del proceso. Aunque existen diferentes modelos cinéticos es generalmente aceptado (Pavlostatis y Giraldo.1991) que a pH y temperatura constante la cinética es de primer orden.

$$dS/dt = -k_H S, \text{ donde } S \text{ es la concentración de sustrato, (kg/m}^3\text{)}$$

Sin embargo Hobson (1987) propone un modelo cinético que supone que la superficie del sólido está cubierta de enzimas hidrolíticas extracelulares, llegando a la conclusión experimental de que la velocidad de hidrólisis es proporcional a la superficie:

$$dM/dt = -k_{SH} A, \text{ donde } M = \text{masa sólido (kg) y } A = \text{superficie efectiva partículas.}$$

Hill y Nakano (1984) encuentran que la producción de biogas es inversamente proporcional al diámetro. Sanders et al (2000) ajustan sus datos experimentales al modelo de superficie y obtienen para el almidón un valor de  $k_{SH} = 0,4 \text{ g/ m}^2\text{.h}$ . Kim et al (2000) trabajando con residuos alimentarios concluyen que “el tamaño de partícula es uno de los factores más importantes de la digestión”. Christ et al (2000) trabajan con lípidos, proteínas e hidratos de carbono, llegando a la conclusión de que para cinéticas lentas (lípidos) la superficie no es limitante (se cumple modelo de orden 1), mientras que para cinéticas más rápidas (hidratos de carbono) la superficie es el factor limitante. Palmowski et al (2000) definen el tiempo técnico de digestión como el necesario para alcanzar el 80% de la producción final de biogas y encuentran, que por molienda, ese tiempo se reduce en un 30% (de 3 a 2 días) para sustratos fácilmente degradables y en más de un 50% (de 17 a 7 días para heno y de 21 a 10 días para hojas), para sustratos lentamente biodegradables. Engelhart *et al* (2000), para fango aerobio, relacionan energía específica de desintegración y aumento de la DQO soluble, obteniendo incrementos de DQO superiores al 20% para energías de 1000 kJ/kg ST. Para estiércol, tanto Angelidaki and Ahring (2000) como Sharma et al(1988) observan incrementos en la producción específica de biogas, del orden del 20%, al disminuir el tamaño de las partículas.

## PRETRATAMIENTO

Dejando de lado los sistemas cuyo objetivo es separar la materia inerte y los sólidos indeseables, centramos la discusión en los procesos cuya finalidad es conseguir un incremento de la biodegradabilidad y el consiguiente aumento de la producción de biogas y disminución de la masa de residuo digerido. Una revisión de los métodos utilizados se encuentra en Delgenes et al. (2000) y en Hasegawa et al. (2000):

- *Tratamiento químico.* Procesos de hidrólisis ácida y alcalina han sido utilizados para aumentar la digestibilidad de la paja. Angelidaki and Ahring (2000) para estiércol tratado con 20 y 40 g NaOH/kg SV obtienen incrementos en la producción de metano del 13 y 23 %. Para FORSU, Gosh *et al.* (2000), previamente disgregada a 2.2 mm y tratada con 5 g NaOH/kg SV obtienen incrementos en la producción de metano de hasta el 35%.
- *Tratamiento enzimático.* Además del trabajo clásico de Rintala and Ahring (1994) los datos de Gosh *et al.* (2000), utilizando celulasa comercial indican que el aumento de la producción de metano es de sólo un 17%, muy inferior al obtenido mediante tratamiento con sosa.
- *Pretratamiento aerobio.* Para fango biológico Hasegawa *et al.* (2000) utilizando un proceso aerobio termófilo aumentan la solubilización en un 40%, con un incremento de biogas del 50%, sin acumulación de ácidos grasos volátiles.

- *Hidrólisis térmica.* El efecto de la presión y temperatura sobre la biodegradabilidad de fango biológico ha sido estudiada por Li and Noike (1992), obteniendo incrementos de la producción de metano del orden del 20% y evidentes mejoras en la filtrabilidad del residuo final. Schieder et al (2000) operando con residuos de restaurante sometidos a presiones hasta 40 bares, temperaturas entre 160 y 200 °C y tiempos de residencia de hasta 60 minutos, consiguen en 5 días producciones específicas de biogas de 850 L/kg ST, superiores a los 780 L/kg ST obtenidos en 20 días para la materia sin hidrolizar. En todos los casos la higienización del residuo es total, cumpliendo la normativa más exigente.

## TECNOLOGÍA ANAEROBIA

La clasificación de los diferentes procesos anaerobios aplicados en el tratamiento de sólidos puede efectuarse atendiendo a diferentes criterios, los más significativos aparecen en la tabla 2.

**Tabla 2.** Tipos de proceso anaerobio y criterio de clasificación

PROCESO	CRITERIO
<i>Humedo – seco</i>	→ concentración de sustrato.
<i>Meso – termófilo</i>	→ temperatura de operación.
<i>Discontinuo – continuo</i>	→ forma de alimentar.
<i>Una – varias etapas</i>	→ separación de fases.
<i>Mezcla completa – piston</i>	→ modelo de flujo.

Tanto la forma de alimentar, como el modelo de flujo y la separación de fases, son criterios bien conocidos en tratamiento anaerobio de aguas residuales, sólo la concentración de sustrato y la temperatura presentan posibles implicaciones con características diferenciales significativas.

*Vía húmeda.* El intervalo de concentración de SV aplicado varía entre 5 y 15 %, lo que implica importantes diferencias en las necesidades de agua de dilución y calefacción. Todos los sistemas comerciales responden al modelo de tanque agitado y su diferencia fundamental procede de la forma de agitar. El sistema más utilizado es la agitación por recirculación de biogas, seguido de la agitación mecánica y de la recirculación de masa en digestión. El tiempo de residencia típico de los diferentes procesos comerciales es superior a 20 días. El material digerido se deshidrata por centrifugación o tornillos compactadores produciéndose un notable caudal de agua. Una parte se devuelve al proceso y la otra se purga conduciéndola a depuración para eliminar materia orgánica y nitrógeno. Otra alternativa es utilizarla como riego de los túneles de compostaje a los que habitualmente se conduce la materia digerida.

*Vía seca.* La concentración de sólidos es del orden del 40%, lo que modifica notablemente las características hidrodinámicas del sistema. Se pasa de trabajar con masas fluidas de viscosidad próxima a la del agua a trabajar con auténtica “pastas”. Los modelos de flujo y forma de conseguir la mezcla difieren en las diferentes tecnologías comerciales, entre las que destacan los procesos Linde, Dranco y Valorga. Los tiempos de residencia habituales son del orden de 10 días, lo que obliga a inocular el reactor. Con el grado de humedad de operación no es necesario deshidratar y se obvia el tratamiento del agua residual producida en la deshidratación de los sistemas de vía húmeda.

Como comparación final los procesos de vía húmeda son copia literal de los sistemas utilizados en estabilización anaerobia de fangos aerobios y en consecuencia puede hablarse de una tecnología robusta, sencilla y bien establecida. Los procesos de vía seca se adaptan especialmente al problema que se pretende resolver y suponen un importante avance tecnológico. En contrapartida exigen mayor conocimiento y rigor en el diseño y operación.

*Temperatura.* Con independencia de que la velocidad global de reacción sea función de la temperatura, el balance energético del proceso está ligado a la concentración de agua. En principio los procesos secos cuadran en el rango termófilo, mientras que para los húmedos y en función de la humedad es preciso afinar

en el balance energético. Una característica digna de reseñar es que los procesos de temperatura elevada conducen a fangos higienizados, lo que en algunas circunstancias puede marcar su mercado potencial.

## CONCLUSIONES

- Durante los últimos años los procesos de digestión anaerobia, con finalidad energética de producción de biogas, han experimentado un incremento espectacular.
- Los sólidos a digerir son complejos en estructura física y en composición química, por lo que es preciso realizar una caracterización adecuada, con especial atención a la diferente biodegradabilidad y cinética de biodegradación de las distintas fracciones
- La práctica industrial no dedica suficiente atención a las posibles limitaciones derivadas del control por la etapa de hidrólisis y del tamaño de los sólidos.
- Las tecnologías cuyo objetivo es incrementar la biodegradabilidad son interesantes, tanto desde el punto de vista del incremento de la producción de biogas, como de la interesante reducción de la cantidad de sólido digerido a eliminar.
- Aplicando un criterio estricto las diferencias entre vía seca y húmeda no se corresponden con el esquema bioquímico del proceso y derivan de diferencias en necesidades energéticas, modelo de flujo y volumen de reactor.

## BIBLIOGRAFIA

- Angelidaki, I. and Ahring, B.K. (2000). Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure. *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 189-194.
- Christ, O., Wilderer, P.A., Angerhöfer, R. and Faultsch, A. (2000). Mathematical modeling of the hydrolysis of anaerobic processes. *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 61-67.
- Delgenes, V., Penaud, M., Torrijos, M. and Moletta, R. (2000). Investigations on the changes in anaerobic biodegradability and toxicity of an industrial microbial biomass induced by thermochemical pretreatment. *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 137-144.
- Engelhart, M., Krüger, M., Kopp, J. and Dichtl, N. (2000). Effects of desintegration on anaerobic degradation of sewage excess sludge in downflow stationary fixed film digesters. *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 171-177.
- Ghosh, S., Henry, M.P., Sajjad, A., Mensinger, M.C. and Arora, J.L. (2000). Pilote scale gasification of municipal solid wastes by high-rate and two phase anaerobic digestion (TPAD). *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 101-109.
- Hills, D. J. and Nakano, K. (1984). Effects of particle size on anaerobic digestion of tomato solid waste. *Agr. Wastes*, **10**, 285-295.
- Hobson, P. N. (1987) A model of some aspects of microbial degradation of particulate substrate. *J. Ferment. Technol*, **65**(4), 431-439.
- Kim, I. S., Kim, D. H. and Hyun, S. H. (2000). Effect of particle size and sodium ion concentration on anaerobic thermophilic food waste digestion. *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 67-73.
- Li, Y.Y. and Noike, T. (1992). Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by thermal pretreatment, *Wat. Sci. Tech.*, **26**(3-4), 857-866.
- Palmowski, L. M. and Müller, J. A. (2000). Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion. *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 156-162.
- Pavlostathis, S. H. and Giraldo-Gomez, E. (1991). Kinetics of anaerobic treatment. A critical review. *Critical Reviews in Environmental Control*, **21**, 411-490.
- Rintala, J.A. and Ahring, B.K. (1994). Thermophilic anaerobic digestion of source sorted household waste: the effect of enzyme addition. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **40**, 916-919.
- Sanders, W. T. M., Geerink, M., Zeeman, G. and Lettinga, G. (2000). Anaerobic hydrolysis kinetics of particulate substrates. *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 17-24.
- Schieder, D., Schneider, R. and Bischof, F. (2000). Thermal hydrolysis (THD) as a pretreatment method for the digestion of organic waste. *Wat. Sci. Tech*, **41**(3), 181-188.

**Agradecimiento** El trabajo forma parte del proyecto REN20012-049/TECNO del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España.