

Hidrólisis térmica de segunda generación. Proceso tH4⁺

Diego Fernández-Polanco director de operaciones de teCH4⁺
Rafael González Calvo gerente técnico de teCH4⁺

La cinética global del proceso de digestión anaerobia de lodos está controlada por la etapa inicial de hidrólisis o solubilización. Para acelerarla, aumentando la velocidad de degradación de la materia particulada y la producción de biogás, aparecen una serie de tecnologías de pretratamiento. De todas ellas, la hidrólisis térmica ofrece las mejores características técnicas y energéticas. Tras analizar las diferentes tecnologías de hidrólisis térmica, se presenta el proceso tH4⁺, desarrollado por la empresa teCH4⁺. Partiendo del profundo conocimiento de la ingeniería de procesos, de las tecnologías utilizadas en otros sectores industriales y de la integración de procesos, esta tecnología viene a convertirse en la hidrólisis térmica de segunda generación, con evidentes ventajas conceptuales, técnicas y económicas respecto a los procesos comerciales existentes.

Palabras clave

Hidrólisis térmica, digestión anaerobia, pretratamiento, biogás, tH4⁺.

The next generation thermal hydrolysis. The tH4⁺ process

The global kinetics of the anaerobic digestion of sludge are controlled by the hydrolysis or solubilization stage. To speed it up, improving the organic material degradation and the biogas yields, a number of pre-treatment technologies have been suggested. Among them, thermal hydrolysis shows the best technical and energy efficiency features. The different thermal hydrolysis technologies are analysed, and the tH4⁺ process, developed by teCH4⁺ company, presented. Based on a thorough understanding of the process engineering fundamentals, the technologies applied in other industrial sectors and the process integration techniques, this technology becomes the next generation thermal hydrolysis, and introduces obvious conceptual, technical and economic advantages over the existing commercial processes.

Keywords

Thermal hydrolysis, anaerobic digestion, pre-treatment, biogas, tH4⁺.

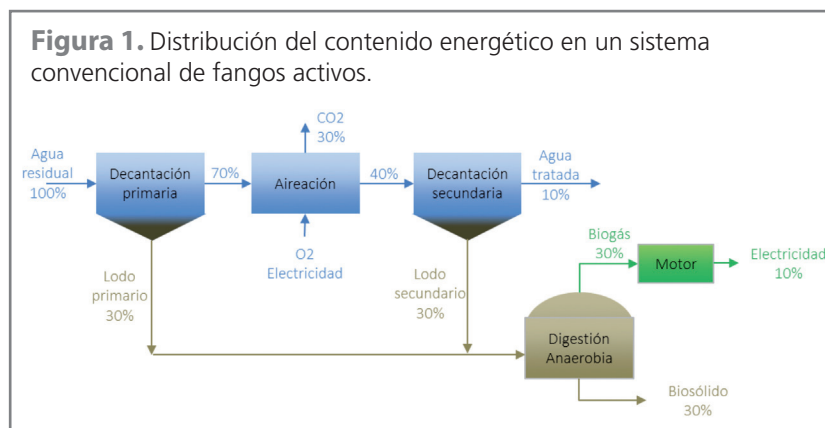


1. Introducción

El flujo de energía en una planta convencional de tratamiento de aguas residuales domésticas está directamente relacionado con la concentración de materia orgánica, expresada como DQO (Garrido *et al.* 2013). El valor del contenido energético específico es cuasi-constante a lo largo del proceso, con un valor medio de 3,4 Wh/gCOD (Shizas y Bagley, 2004). Considerando que el contenido en energía del influente se puede calcular como producto de la carga orgánica alimentada (DQO) multiplicada por el valor del contenido energético específico, en la **Figura 1** se presenta la distribución de energía contenida en las diferentes corrientes de un proceso convencional de fangos activos.

De acuerdo con ese esquema, más del 50% de la energía inicialmente contenida en el agua residual aparece concentrada en los lodos primarios y secundarios, que tras su digestión anaerobia en digestor convencional se transforman parcialmente en biogás, que puede aprovecharse para producir energía eléctrica. Solo el 10% de la energía inicial llega a convertirse en energía eléctrica, que no llega a cubrir los requerimientos energéticos del proceso.

A partir del esquema de etapas en serie paralelo, comúnmente aceptado para la digestión anaerobia de materia particulada, la etapa inicial de hidrólisis o solubilización es la más lenta y controla la cinética global del proceso. Atendiendo a esta circunstancia, aparecen una serie de tecnologías de pretratamiento cuyo objetivo es acelerar la etapa de hidrólisis mejorando la velocidad de degradación de la materia particulada y la consecuente mejora en la cinética de producción de biogás, que repercutirá en una mayor pro-



ducción de energía eléctrica que puede llegar a convertir la planta de tratamiento de aguas residuales en energéticamente autosuficiente.

Existe numerosa bibliografía con resultados experimentales a escala laboratorio para las diferentes tecnologías físicas, químicas y biológicas utilizadas como etapa de pretratamiento de lodos de plantas de tratamiento de aguas. Sin embargo, a escala industrial las referencias de instalaciones comerciales es mucho mas reducida (Cano *et al.*, 2015; Sridhar Pilli *et al.*, 2015; Ariunbaatar *et al.*, 2014; Carrere *et al.*, 2010; o Pérez-Elvira *et al.*, 2006).

Sin entrar en comparación de tecnologías, y aceptando que de acuerdo con la bibliografía la hidrólisis térmica parece ofrecer las mejores características técnicas y energéticas (Cano *et al.*, 2015), se realiza una breve discusión de las tecnologías comerciales.

2. Bases tecnológicas

Las diferentes tecnologías comerciales de hidrólisis térmica pueden analizarse en función de los parámetros de diseño y operación que aparecen en la **Tabla 1**.

2.1. Mecanismos

2.1.1. Térmico

Por acción de la temperatura, la

Tabla 1. Parámetros de diseño y operación que definen la hidrólisis térmica a escala industrial.

Mecanismos aplicados
Térmico (cocción) Explosión de vapor
Intercambio de calor
Cambiadores de calor Vapor directo
Impulsión del lodo
Bombas Presurización
Régimen de operación
Por cargas (<i>batch</i>) Continuo Estacionario No estacionario

estructura física de los sólidos se transforma mediante reacciones químicas. Como en otros procesos químicos, este mecanismo está controlado por los valores de temperatura y tiempo de reacción. Trabajando a temperaturas moderadas (100 °C) es preciso mantener la reacción durante tiempos elevados (> 1 h), mientras que a temperaturas que superen un cierto límite (> 180°C) aparecen reacciones secundarias de degradación (reacciones de Maillard), que conducen a la formación de compuestos recalcitrantes no biodegradables e incluso tóxicos que disminuyen la biodegradabilidad global de los sólidos.

2.1.2. Explosión de vapor

Cuando un líquido a presión y temperatura elevada se descomprime rápidamente, se produce el fenómeno de ebullición súbita o de *flash*. A nuestros efectos, para mantener el balance de entalpía, una parte del líquido se vaporiza de forma instantánea, produciéndose la escisión de la corriente inicial de líquido presurizado en una corriente de líquido y otra de vapor, en las condiciones de temperatura correspondientes al equilibrio termodinámico a la nueva presión alcanzada tras la descompresión. En el caso de los lodos, mediante este mecanismo, el agua contenida en la estructura polimérica externa y en el interior de las células se vaporiza parcialmente, produciendo la rotura de la estructura celular tanto externa como interna.

De acuerdo con Donoso-Bravo *et al.* (2011), hidrolizando lodo secundario a escala laboratorio y piloto, a temperatura constante de 170 °C lograda mediante inyección de vapor, el efecto de la explosión de vapor hasta presión atmosférica es mucho más significativo que el efecto térmico, observado en tiempos que fluctuaron entre 0 y 30 min. Igualmente, los autores concluyen que en todos los casos el efecto de la hidrólisis repercute más en la velocidad de producción de biogás que en la productividad final obtenida con digestión anaerobia con tiempos hidráulicos de residencia suficientemente largos.

2.2. Intercambio de calor

2.2.1. Cambiadores de calor

Para calentar la alimentación al proceso y para recuperar la energía de la corriente de fango hidrolizado a temperatura elevada se utilizan cambiadores de calor, en general

La hidrólisis térmica es una tecnología de pretratamiento que mejora la producción de biogás, lo que repercute en una mayor producción de energía eléctrica y que, por tanto, puede convertir la EDAR en una planta autosuficiente energéticamente

de tubos concéntricos. Como fluido térmico las diferentes tecnologías emplean agua a presión, vapor o aceite térmico. En todos los casos el mantenimiento es laborioso, dado que en el lado del fango y en especial durante los episodios de bajada de temperatura se producen costras (*scaling*) de difícil eliminación.

2.2.2. Inyección directa de vapor

Tanto la alimentación como el reactor se calientan con vapor. Cuando se emplea tecnología con explosión de vapor, la recuperación de calor del lodo hidrolizado a temperatura elevada, se realiza aprovechando el vapor producido en la etapa de separación de fases tras la ebullición súbita.

Como se discutirá más adelante, una limitación de la recuperación de calor del lodo hidrolizado mediante el vapor del *flash* radica en la circunstancia de que en las condiciones típicas de los procesos comerciales, en las etapas de precalentamiento no se aprovecha más del 66% del vapor.

2.3. Impulsión del lodo

2.3.1. Bombas

La mayoría de los sistemas comerciales utilizan bombas para impulsar el lodo. A causa de la elevada viscosidad y temperatura y de la posible presencia de sólidos abrasivos, en estas instalaciones las bombas son un equipo especialmente sensible y demandante de mantenimiento.

2.3.2. Presurización

Para alimentaciones con elevado contenido en sólidos el transporte mediante presurización de recipientes es una alternativa que ha sido ampliamente utilizada en el sector químico y alimentario. Desde un depósito que se presuriza, el lodo es impulsado a través de tubería en las condiciones de presión y temperatura que el proceso requiera.

2.4. Régimen de operación

2.4.1. Hidrólisis por cargas (*batch*)

El lodo precalentado se carga en el reactor de hidrólisis y mediante inyección de vapor se presuriza hasta la presión de consigna, en esas condiciones de temperatura elevada el lodo 'cuece' durante el tiempo prefijado, normalmente entre 20 y 30 min. Trascurrido este tiempo de reacción el reactor se despresuriza a través de una boquilla o válvula, produciéndose la explosión de vapor y la posterior separación de fases de lodo hidrolizado y de vapor. El reactor vacío vuelve a cargarse con lodo precalentado y se establece un nuevo ciclo. Como en otros procesos discontinuos, la operación simultánea de varios reactores que operan con sus ciclos desfasados en el tiempo, permite aproximarse a un flujo cuasi-continuo.

2.4.2. Hidrólisis en continuo

El lodo precalentado se alimenta de forma controlada y continua al reactor de hidrólisis, sin que existan ciclos de carga y descarga. Esta forma



Tabla 2. Características generales de las tecnologías de hidrólisis térmica.

Propiedad	Características
Producción de biogás	Manteniendo el THR en digestión, incrementos de: - 40-60% para fango biológico - 10-25% para fango mixto - 10-60% para diferentes sustratos orgánicos (FORSU, algas, purines, etc.)
Lodo digerido (biosólido)	Menor producción (proporcional al incremento en biogás) Menor viscosidad Mejor deshidratabilidad (SST > 30%) Higienización: - EPA clase A - No recrecimiento de patógenos No olor en almacenamiento y/o uso
Proceso anaerobio	Menor energía en agitación Concentración de SSV más elevada (10% SST) Mayores cargas orgánicas aceptables (4 kg SSV/m ³ .d) Eliminación de espumas (rotura de filamentosas) Incremento del rendimiento de eliminación de compuestos emergentes Mayor concentración de DQO y N en retornos de deshidratación

2.4.4. Régimen no estacionario

Las variables del proceso no se mantienen constantes y fluctúan en el tiempo de operación. En el caso de la hidrólisis con explosión de vapor, es especialmente relevante el hecho de que al abrir el reactor hacia la cámara de flash la presión descenderá, con la consiguiente disminución de la eficacia de la explosión de vapor, que está regida por la diferencia entre las presiones del reactor y de la cámara de *flash*.

Desde un punto de vista tecnológico, el régimen de operación esta directamente relacionado con la estabilidad de la operación, el aprovechamiento de la energía del lodo hidrolizado y con la complejidad de los sistemas de control. Tomando como modelo la industria química de base, que opera en toneladas por hora, la evolución ha sido muy clara, los primitivos sistemas por cargas y en régimen no estacionario han dado paso a procesos de segunda generación que operan en continuo y en régimen estacionario.

de operar esta directamente relacionada con la posibilidad de operar en régimen estacionario.

2.4.3. Régimen estacionario

Como consecuencia de la operación en continuo, las variables de proceso

se mantienen constantes dentro del estrecho intervalo de variación impuesto por los sistemas de control. En el caso de la hidrólisis térmica es relevante que en el reactor se mantiene constante tanto la presión como la temperatura y el nivel.

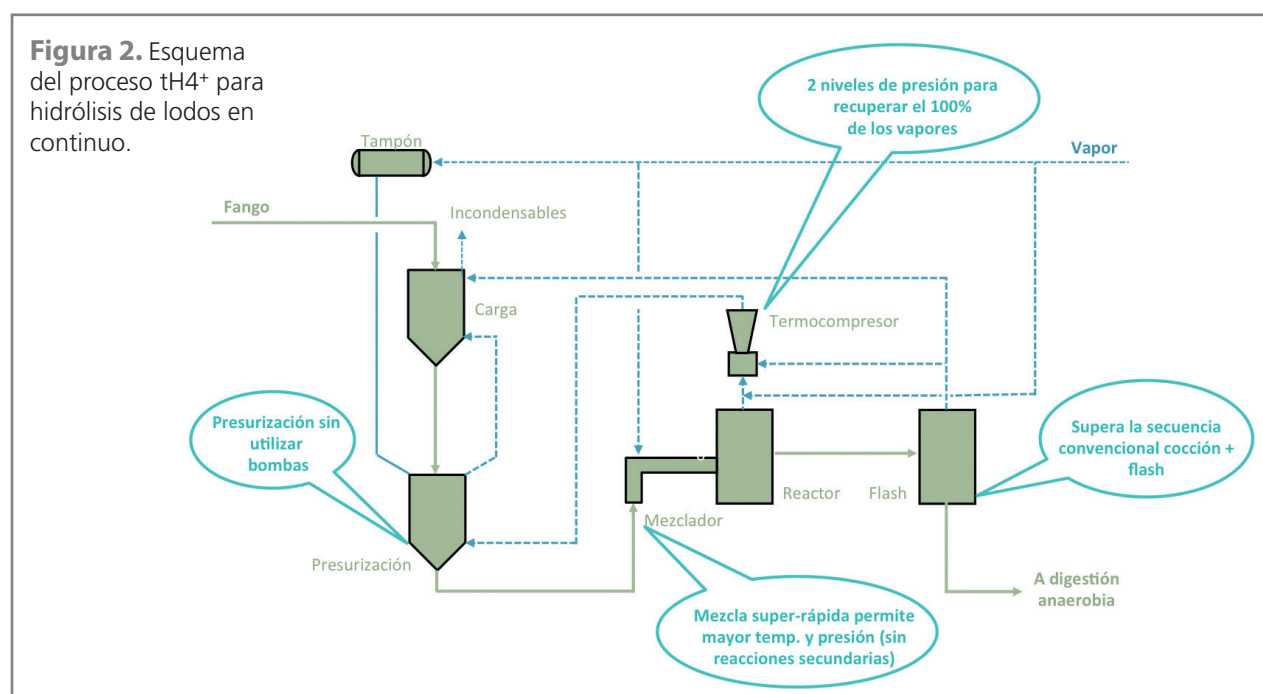


Tabla 3. Comparación de tecnologías de hidrólisis térmica.

Compañía	Tecnología	Régimen		Tiempo reacción (min)	Temperatura máxima (°C)
Cambi	THP	Batch	No estacionario	30	165
Veolia	Exelys	Continuo		30	165
SH+E	Lysotherm			30	165
Sustec	TurboTec			30	165
Haarslev	ACH			20	165
Aqualogy	Aqualysis		Estacionario	15	170
teCH4+	th4+	Continuo	Estacionario	<5	220

3. Características generales de los sistemas de hidrólisis térmica

Es comúnmente aceptado que en mayor o menor grado todos los procesos de hidrólisis térmica tienen unas características comunes, que se sintetizan en la **Tabla 2**. A pesar de que todas las tecnologías parecen ofrecer ventajas e inconvenientes comunes, cada proceso comercial tiene características propias en relación con su concepto, diseño y forma de operar, alcanzando rendimientos diferentes y con costes de instalación y operación muy diferentes.

4. Proceso th4+

Con base en una amplia experiencia tanto en pretratamientos como en digestión anaerobia y en un riguroso *benchmarking* que ha incluido todos los procesos comerciales localizados en la bibliografía (Fernández-Polanco, 2013), se ha desarrollado una nueva tecnología de hidrólisis térmica que, de acuerdo con la **Figura 2**, se describe a continuación, atendiendo a las etapas fundamentales del proceso.

4.1. Carga, presurización y recuperación de energía

El lodo fresco se conduce a un depósito de carga y, desde allí, es trans-

portado por gravedad hasta sendos depósitos de presurización (en el esquema solo se muestra un depósito). El lodo almacenado tanto en el depósito de carga como en los de presurización recibe todo el vapor producido en las etapas posteriores, que condensa en su totalidad debido a las condiciones de presión y temperatura prefijadas. Los depósitos de presurización que además reciben vapor vivo, operan por ciclos de forma que el flujo de material hacia la zona de hidrólisis es constante.

4.2. Un nuevo y original concepto de hidrólisis

El lodo precalentado y a presión se conduce hasta un mezclador rápido donde en tiempos inferiores a 5 segundos alcanza la temperatura de consigna ($T > 200$ °C). A pesar de superarse la temperatura límite de degradación, el tiempo es tan corto que no se permite el desarrollo de las reacciones secundarias. De forma inmediata este lodo precalentado se expande, sufriendo una primera explosión de vapor que provoca la rotura de la estructura del lodo. En el reactor hay una primera separación de fases y el lodo prehidrolizado (fase pesada) se mantiene a la temperatura de reacción durante un tiempo prefijado, para facilitar las reacciones

de hidrólisis por temperatura. Posteriormente y mediante una segunda descompresión, el lodo se somete a una nueva explosión de vapor y, tras su separación en la cámara de *flash*, es conducido a digestión.

4.3. Recuperación de energía

Al existir dos procesos de ebullición súbita que operan a temperaturas diferentes se producen dos corrientes de vapor de diferente presión: vapor de media presión, procedente del reactor; y vapor de baja presión, procedente del *flash*. Junto con el vapor de alta que se alimenta al proceso, ambas corrientes se llevan a un termocompresor, lo que junto al juego de presiones en el sistema de carga-presurización permite un aprovechamiento total del vapor.

Las principales ventajas tecnológicas que diferencian a la nueva tecnología en relación con los procesos comerciales existentes, son:

- Durante el proceso continuo de etapas en serie el lodo es sometido a distintos mecanismos de hidrólisis:
 - Pre-hidrólisis térmica, en los depósitos de carga y presurización.
 - Primera explosión de vapor, en el reactor.
 - Hidrólisis térmica del lodo prehidrolizado y explotado, en el reactor.



	Explosión de vapor	Cambiador de calor	Bombas	Mantenimiento	Integración energética	Superficie (footprint)	Plantas en EDAR
	Sí	No	Sí	X	X	X	41
	No	Sí	Sí	X	X	X	3
	No	Sí	Sí	X	X	X	3
	No	Sí	Sí	X	X	X	1
	Sí	No	No	√	X	√	0
	Sí	No	Sí	X	X	√	1
	Sí (2)	No	No	√	√	√	0

- Nueva explosión de vapor, en la cámara de *flash*.

Esta secuencia garantiza que, a pesar de los bajos tiempos utilizados, la eficacia de hidrólisis es superior a la de otros procesos en los que la hidrólisis térmica se aplica a lodo crudo caliente, pero que no ha sufrido una explosión de vapor previa.

- El proceso de carga-presurización de la alimentación permite eliminar todas las bombas, reduciendo notablemente los costes de mantenimiento.

- Utilizando un mezclador-inyector ultrarrápido, durante un tiempo muy corto ($t < 5$ s) el lodo alcanza una temperatura superior a la de formación de compuestos recalcitrantes o inhibidores, máximo permisible en otras tecnologías, lo que permite realizar una primera rotura de la estructura del lodo mediante explosión de vapor.

- En la zona de hidrólisis el régimen es continuo y estacionario. En cada punto del proceso los valores de las variables presión y temperatura se mantienen constantes lo que permite una operación más estable y fácil de controlar. La instalación es robusta, compacta, automática y con instrumentación y sistemas de control sencillos.

- La integración energética del

proceso es total, recuperándose todo el vapor producido en el proceso, lo que conduce a consumos específicos (kg vapor vivo/ kg lodo alimentado) notablemente inferiores a los de otras tecnologías. Este bajo consumo específico facilita la correcta integración de la instalación de hidrólisis térmica en el conjunto de la planta de tratamiento.

5. Comparación de tecnologías de hidrólisis térmica

En la **Tabla 3** se recogen y comparan las tecnologías comerciales de hidrólisis térmica. Para confeccionar la tabla se ha tomado como base información comercial y patentes de las diferentes compañías, sin que sea posible verificar en todos los casos la veracidad de la información que suministran.

Por número de plantas instaladas resulta evidente que la tecnología comercial por excelencia es la desarrollada por Cambi (**Figura 3**), que a continuación se compara con la tecnología th4+.

5.1. Etapa de precalentamiento

Al operar a presión atmosférica el proceso Cambi solo recupera vapor procedente del tanque de *flash*

hasta llegar a temperatura cercana a 100 °C. En estas condiciones no condensa todo el vapor recirculado. El proceso th4+ opera a presiones superiores a la atmosférica permitiendo la condensación total de los vapores procedentes de las etapas de ebullición súbita, alcanzándose temperaturas superiores a 140 °C, que permiten que se inicie un proceso de pre-hidrólisis.

5.2. Etapa de reacción

En el proceso Cambi el fango precalentado en el *pulper* se conduce mediante bomba (no indicada en el esquema) al reactor. El proceso opera con entre 2 y 6 reactores que se

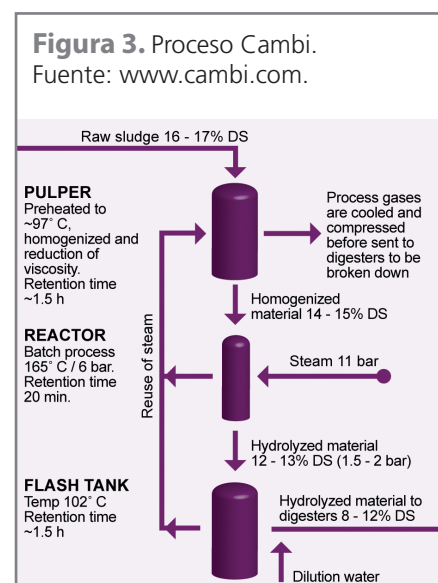
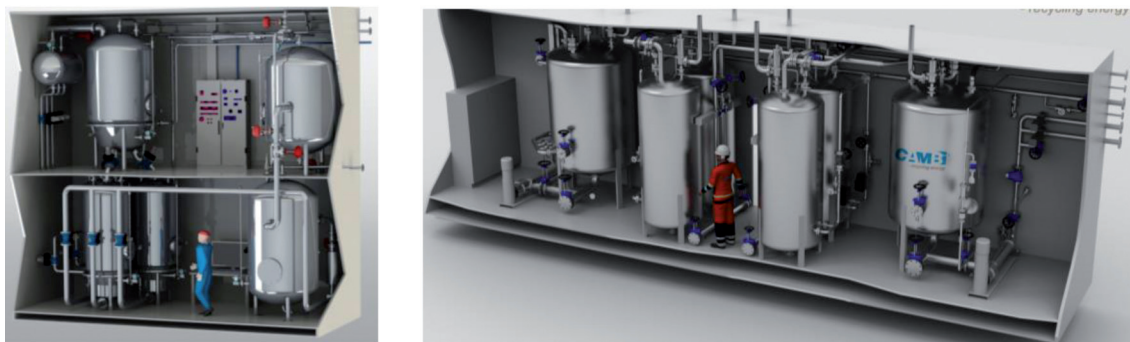


Figura 4. Vista de las instalaciones tH4+ (izquierda) y Cambi (derecha).

cargan secuencialmente. Un vez cargado el reactor, se introduce vapor vivo hasta conseguir la temperatura de hidrólisis, el fango 'se cuece' a esa temperatura durante el tiempo prefijado, trascurrido el cual el material se descomprime (sistema no indicado en la figura) para provocar la explosión de vapor y en la cámara de *flash* se separan las corrientes de vapor, que se recircula, y lodo hidrolizado que se lleva a digestión. El proceso de carga de los reactores es discontinuo y la descompresión de cada reactor es netamente no estacionaria.

En el proceso tH4+ el fango precalentado se presuriza y sin necesidad de bombas se lleva a una primera etapa donde se calienta en tiempo muy corto a elevada temperatura para ser sometido a una primera explosión de vapor y posterior reacción térmica. Tras el tiempo de reacción correspondiente el lodo hidrolizado se somete a una segunda explosión de vapor y es conducido a digestión. El tratamiento es así mucho más completo alcanzándose mayores eficiencias de solubilización de la materia orgánica y mejores rendimientos en la digestión anaerobia.

5.3. Operación

Frente al proceso Cambi con carga y reacción térmica discontinua y *flash*

pseudo-continuo y no estacionario, en el proceso tH4+ todas las etapas de hidrólisis, tanto por temperatura como por explosión de vapor, son continuas y en régimen estacionario. En cada punto de la instalación no existen fluctuaciones de presión o temperatura.

5.4. Control

Como corresponde a un proceso continuo y estacionario el control de operación es mucho más robusto y sencillo en la tecnología tH4+ que en cualquier proceso discontinuo o no estacionario.

5.5. Tamaño

Para una población equivalente del orden de 500.000 habitantes el proceso Cambi utiliza depósitos cuyo volumen se mueve en el orden de 12 m³ para el *pulper* (precalentador), 2 x 5 m³ para los reactores (en otras ocasiones utilizan hasta 6 reactores) y finalmente 12 m³ para la cámara de *flash*.

Para una capacidad de tratamiento semejante, al operar en continuo y estacionario, la tecnología tH4+ propone un volumen de carga-presurización de 5 m³, un reactor de 2 m³ y una cámara de *flash* de 2 m³. Este tamaño tan reducido permite el montaje en un contenedor transportable, requiere una superficie míni-

ma y significa un ahorro evidente en el coste de la instalación.

En la **Figura 4** y para capacidades de tratamiento semejantes pueden compararse los tamaños relativos de ambas instalaciones y la menor huella (*footprint*) de la instalación tH4+.

5.6. Eficacia

La eficacia total del proceso es mayor en tH4+ dado que el lodo es sometido en serie a procesos de pre-hidrólisis, primera explosión de vapor, hidrólisis por temperatura del lodo tras la primera rotura y segunda explosión de vapor, mientras que en el proceso Cambi es el lodo sin hidrolizar el que se somete a la reacción térmica y posterior explosión de vapor.

5.7. Eficiencia energética

Mientras que en los procesos que recirculan el vapor del *flash* hacia el precalentador que opera a presión atmosférica no se consigue la condensación total, en el sistema tH4+ se recupera la totalidad de la energía contenida en los vapores de media y baja producidos en las cámaras de separación de fases tras la explosión de vapor. Así mismo, el régimen totalmente estacionario permite un aprovechamiento integral del vapor. Por este doble motivo el consumo específico de vapor es inferior en



En el proceso tH4⁺ todas las etapas de hidrólisis, tanto por temperatura como por explosión de vapor, son continuas y en régimen estacionario

más de un 25% al de las demás tecnologías.

6. Conclusiones

Partiendo del profundo conocimiento de las bases de la ingeniería de procesos, de las tecnologías utilizadas en otros sectores industriales y de la integración de procesos, puede concluirse que la tecnología tH4⁺, desarrollada por la empresa teCH4⁺, viene a convertirse en un primer hito tecnológico de la hidrólisis térmica de segunda generación,

con evidentes ventajas conceptuales, tecnológicas y económicas respecto a los procesos comerciales existentes.

Bibliografía

- [1] Ariunbaatar, J.; Panico, A.; Esposito, G.; Pirozzi, F. (2014) Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Applied Energy*, núm. 123, págs.143-156.
- [2] Cano, R.; Pérez-Elvira, S.I.; Fernández-Polanco, F. (2015). Energy feasibility study of sludge pretreatments: a review. *Applied Energy*, núm. 149, págs. 176-185.
- [3] Carrère, H.; Dumas, C.; Battimelli, A.; Batstone, D.J.; Delgenès, J.P.; Steyer, J.P.; Ferrer, I. (2010). Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: a review. *J. Hazard Mater.*, núm. 183(1-3), págs. 1-15.

[4] Donoso-Bravo, A.; Pérez-Elvira, S.; Aymerich, E.; Fernández-Polanco, F. (2011). Assessment of the influence of thermal pre-treatment time on the macromolecular composition and anaerobic biodegradability of sewage sludge. *Bioresource Technology*, núm. 102 (2), págs. 660-666.

[5] Fernández-Polanco, F. (2013). Squeezing the sludge. Thermal hydrolysis to improve WWTP sustainability. Key note in 13th IWA World Congress on Anaerobic Digestion, Santiago de Compostela (España).

[6] Garrido, J.M.; Fernández-Polanco, M.; Fernández-Polanco, F. (2013). Working with energy and mass balances: a conceptual framework to understand the limits of municipal wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.*, núm. 67(10), págs. 2.094-2.301.

[7] Pérez-Elvira, S.; Nieto, P.P.; Fernández-Polanco, F. (2006). Sludge minimisation technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/technology*, núm. 5, págs. 375-398

[8] Shizas, I.; Bagley, D. (2004). Experimental determination of energy content of unknown organics in municipal wastewater streams. *J. Energy Eng.*, núm. 130(2), págs. 45-53.

[9] Sridhar, P.; Song Yan, R.D.; Tyagi, R.; Surampalli, Y. (2015). Thermal pretreatment of sewage sludge to enhance anaerobic digestion: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, núm. 45(6), págs. 669-702.

Röstor®

BOMBAS DE ALTA PRESION



- Bombas, equipos y accesorios para limpieza de tuberías, alcantarillado e industrial con agua a alta presión



- Cojines neumáticos
- Obturadores de tuberías
- Traslado de aguas
- Pruebas de tuberías



Motorrens S.L.

www.motorrens.es
E-Mail: motorrens@rostor.com

C/ Apel·les Mestres, 36-38 43206-REUS
Tel. 977 32 81 05 Fax 977 32 65 52