



Hidrólisis térmica en continuo: recuperando energía del agua

Philippe Rougé *product manager* Plantas de Aqualogy
Maurici Poch responsable de Mejoras operaciones de soporte técnico de Aqualogy
Pilar Rodríguez dirección soporte Plantas Aqualogy
Ana Pérez *project manager* de Cetaqua

1. Introducción

Uno de los principales retos a los que se enfrentará el sector del agua en los próximos años es reducir los elevados costes energéticos asociados a la producción y el saneamiento de agua. La depuración de aguas residuales es el proceso más intensivo energéticamente de todo el ciclo del agua, y presenta unos consumos de energía eléctrica del orden de 0,25 a 2,5 kWh/m³ en función de parámetros como el tamaño y la edad de la planta, la contaminación del agua de entrada y el tipo de tecnologías de tratamiento implementadas. Este consumo puede seguir ampliándose a causa de la progresiva introducción de nuevas regulaciones que exijan niveles más rigurosos para el tratamiento de los contaminantes actuales o que introduzcan nuevos contaminantes.

Así mismo, la digestión anaeróbica o la metanización es un proceso biológico implementado actualmente en

la gran mayoría de la estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de tamaño mediano-grande que permite la estabilización de la materia orgánica, consiguiendo una significativa reducción en el volumen de lodos y generando biogás, un gas rico en CH₄ con un poder calorífico entorno a 6 y 7 kWh/Nm³ que puede ser utilizado para la generación de energía renovable mediante cogeneración. El proceso de metanización consiste en varias etapas en las que las largas cadenas de proteínas, lípidos e hidratos de carbono van rompiéndose progresivamente hasta generar CH₄ y CO₂. Por esta razón, la generación y el aprovechamiento energético del biogás (energía eléctrica y térmica) en las EDAR es una de las alternativas más importantes a nivel operacional para alcanzar un ahorro significativo en el coste del tratamiento del agua residual, y puede permitir que las instalaciones sean 100% autosuficientes energéticamente.



A día de hoy, los procesos de tratamiento de aguas residuales son todos ellos consumidores netos de energía, por lo que, con los esquemas de tratamiento y generación de biogás actuales, no es posible alcanzar la autosuficiencia energética. Tal como muestra el balance energético de la **Figura 1**, en los procesos de lodos activados, más del 60% de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual de entrada se transfiere al fango. Durante la digestión, tan solo un 30-40% de esta materia orgánica se convierte en biogás, mientras que el 60-70% restante de la DQO sale de los digestores sin haberse degradado completamente. Estas cifras muestran que el potencial para optimizar el rendimiento de la digestión es significativo.

En ese sentido, los pretratamientos de lodos previos a la digestión anaeróbica son procesos usados para forzar la rotura celular, solubilizando la materia orgánica presente en el lodo biológico, mejorando su biodegradabilidad, repercutiendo en un incremento en el rendimiento del proceso y, en consecuencia, en la producción de biogás. En concreto, estos procesos mejoran especialmente el rendimiento de la etapa de hidrólisis, que es habitualmente la etapa más lenta y, por tanto, la limitante del proceso de digestión. Actualmente existen diferentes tipos de pretratamiento que se clasifican como físicos (alta presión, ultrasonidos, descargas eléctricas), químicos (ozonación, adición de ácidos o bases), biológicos (enzimáticos) o térmicos (hidrólisis térmica). Sin embargo, los balances técnico-económicos limitan la aplicación de la mayoría de esos procesos, siendo la hidrólisis térmica el proceso que presenta unas mejores perspectivas industriales.

2. Hidrólisis térmica en continuo: tecnología Aqualysis

2.1. Antecedentes

El proceso de hidrólisis térmica en continuo (HTC) ha sido desarrollado en colaboración entre la empresa Aqualogy y la Universidad de Valladolid. Su estudio en Aqualogy empezó hace 10 años a escala de laboratorio, operando un reactor en discontinuo con el objetivo de cuantificar los principales parámetros de control. Con esta información se financió el proyecto 'Protégelo (2005-2006)', cuyos resultados facilitaron la construcción de una primera planta piloto en discontinuo, que operó inicialmente con vapor de agua y que, posteriormente, incorporó una unidad flash de explosión de vapor.

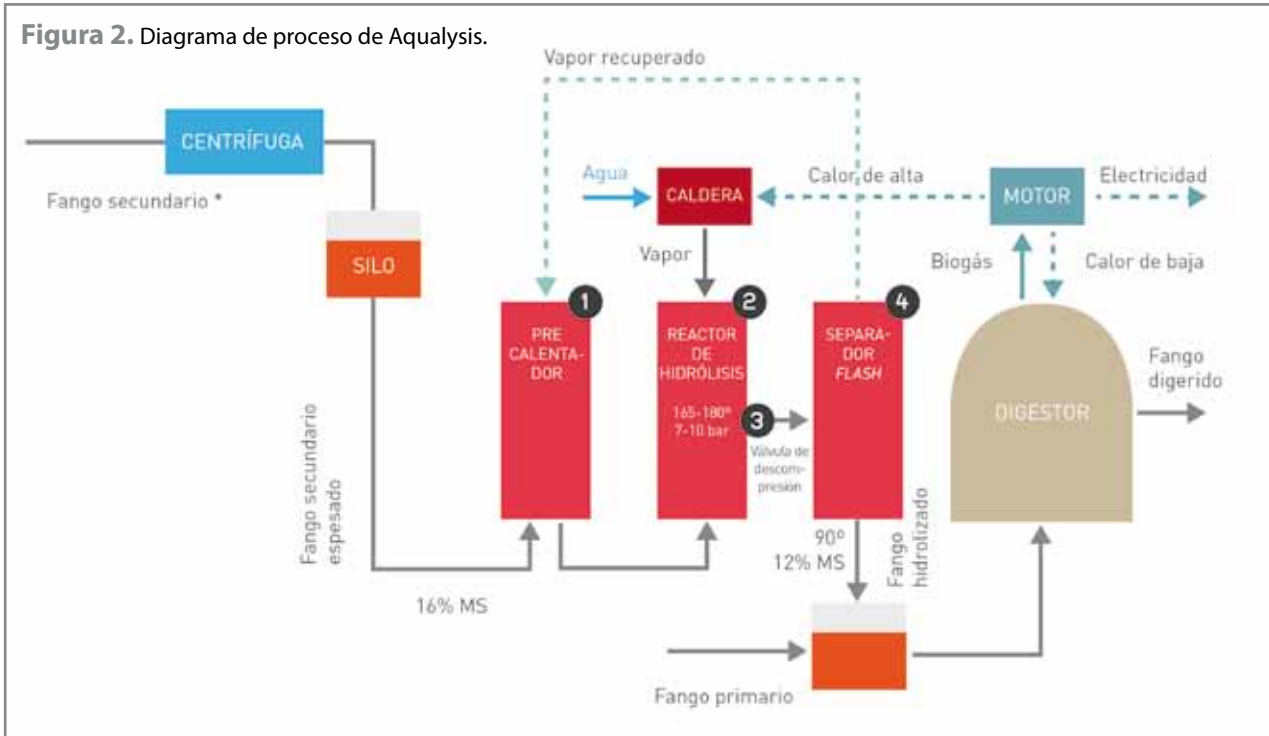
Teniendo en cuenta los prometedores resultados, el desarrollo de la HTC y el análisis del impacto esperado, tanto en el proceso de digestión anaeróbica como en la línea de agua, fueron las actividades principales a realizar por Aqualogy en el proyecto CENIT - Sostaqua (2007-2010), en el que también se evaluaron otras tecnologías de pretratamiento a escala de laboratorio. Con la experiencia adquirida, la fase siguiente se desarrolló dentro del proyecto CENIT-SOSTCO2 (2010-2012), y consistió en el diseño, la construcción y la operación de una planta piloto de demostración. Desde el fin del proyecto SOST-CO2 hasta la actualidad, se ha continuado con la operación de la planta piloto, demostrando la viabilidad técnica y los rendimientos obtenidos en el proceso.

A lo largo de estos 10 años de investigación ininterrumpida, Aqualogy ha adquirido un amplio conocimien-

Figura 1. Balance energético en una EDAR con lodos activos y digestión anaeróbica.



Figura 2. Diagrama de proceso de Aqualysis.



to sobre los fundamentos del proceso HTC, así como sobre su impacto en la EDAR, especialmente en el proceso de digestión anaeróbica.

2.2. Tecnología Aqualysis: ¿qué es?

La tecnología Aqualysis es un pretratamiento de hidrólisis térmica en continuo a la digestión anaeróbica que consta de cuatro elementos principales, como se aprecia en la **Figura 2**: precalentador y recuperación de calor (1); reactor de hidrólisis térmica (2); válvula de descompresión (3); y separación *flash* (4).

2.3. ¿Cómo funciona?

Como muestra la **Figura 2**, el fango secundario espesado (~16% MS) se bombea continuamente desde un silo hasta el precalentador, donde se precalienta a 100 °C con el vapor recuperado del *flash*, garantizando un calentamiento homogéneo. El fango precalentado con el vapor producido en el *flash* entra en el reactor de hidrólisis, que funciona de una forma similar al precalentador, pero a una presión mucho más alta (7-10 bar). El vapor producido en el módulo de integración de energía se utiliza directamente para aumentar la temperatura desde 100 °C al nivel de operación, es decir, 165-180 °C. El fango se somete finalmente a una fuerte explosión de vapor, haciéndolo pasar a través de la válvula de descompresión hacia el tanque *flash*.

Después de esta parte del proceso, el agua contenida en la estructura del lodo y del interior de la célula se

somete a un proceso de evaporación súbita, capaz de romper la estructura, hidrolizando parte de la materia orgánica que, inicialmente, era difícilmente accesible por las bacterias anaeróbicas. Debido a ello, el fango hidrolizado presenta, con respecto al fango fresco de entrada, un incremento en la materia orgánica soluble, por lo que aumenta la cinética de biodegradación anaeróbica y disminuye la viscosidad.

2.4. ¿Qué permite?

La mejora de la cinética anaeróbica, la solubilización de la materia orgánica compleja y la disminución de la viscosidad permiten incrementar la degradación del fango en el digestor de una planta depuradora de aguas residuales, logrando:

- El incremento en la producción de biogás (hasta un 30%).
- La reducción de la cantidad de fango a disposición (hasta un 30%).
- La mejora en la sequedad de los fangos: hasta un 10% de incremento de materia seca (MS) en el fango deshidratado, dependiendo de la calidad del fango a hidrolizar y de la proporción de lodo primario y biológico.
- El incremento en la capacidad de digestión (hasta un 50%), lo que permite liberar volumen en los digestores y operar con menos unidades en funcionamiento o, en caso de obras nuevas y ampliaciones, menor volumen de construcción.



Además, debido a las condiciones en las que opera, Aqualysis permite eliminar los patógenos de los fangos hidrolizados, así como los problemas de espumas frecuentes en EDAR.

3. Ventajas de Aqualysis

3.1. Continuidad

Su operación en continuo permite reducir el tamaño y la complejidad de la instalación (más compacta) y, en consecuencia, reducir los costes de inversión y operación.

3.2. Transferencia de calor directa

La tecnología utiliza vapor como fuente de calor, que optimiza la eficiencia energética del sistema.

3.3. Diseño optimizado

La novedosa concepción de la válvula de descompresión mejora la eficacia del proceso, ya que en este punto tiene lugar gran parte de la desintegración. Además, Aqualysis trabaja con un tiempo de retención hidráulico en el reactor inferior a los 30 minutos.

3.4. Integración energética

Los puntos descritos anteriormente hacen que la integración energética no se realice exclusivamente a nivel del proceso de hidrólisis térmica, sino también en la EDAR. La recuperación energética se basa en tres puntos claros:

- Recuperación de calor de los humos de salida de los motores de cogeneración.
- Recuperación del vapor del flash en el precalentador.
- Recuperación de calor para calentar los digestores (fango hidrolizado caliente).

3.5. Aplicabilidad

Su diseño compacto y optimizado permite ofrecer una solución tecnológica económicamente viable no solo para plantas de gran tamaño, sino también para aquellas de tamaño medio a partir de los 150.000 habitantes equivalentes (**Figura 3**).

4. Resultados de la planta piloto demostrativa

4.1. Impacto sobre la producción de biogás y la producción de lodos

La rotura y la solubilización de la materia orgánica producidas durante el proceso Aqualysis permiten aumentar tanto la cinética como la biodegradabilidad anaeróbica del lodo. Durante la experimentación se observó, en promedio, un aumento en la producción de biogás del orden de un 30%. Al aumentarse la eficiencia de conversión de la materia orgánica en biogás, se consigue, además, una consecuente reducción del 30% en la producción de lodos. En ese sentido, Aqualysis permite aumentar la carga orgánica a aplicar en los digestores hasta valores de 3-4 kgVS/m³/día, por lo que en instalaciones existentes se

Figura 3. Ventajas de la tecnología Aqualysis.



Aqualysis es un proceso de hidrólisis térmica en continuo que permite alcanzar la autosuficiencia energética y minimizar el impacto ambiental del tratamiento de las aguas residuales

umenta la capacidad disponible, mientras que para instalaciones nuevas hace disminuir los costes de inversión (ya que se necesitarían digestores de menor tamaño).

4.2. Impacto sobre la calidad de los lodos

Se evaluó el impacto del proceso de hidrólisis en el contenido en sólidos del fango a través de pruebas de deshidratación con centrífuga a diferentes dosis de polielectrolito y se observó que el sistema Aqualysis permite una mejora en el contenido en sólidos del lodo deshidratado de hasta un 10%. Esta mejora en la deshidratabilidad es consistente con la reducción observada en la viscosidad del lodo mixto hidrolizado con respecto al lodo mixto sin hidrolizar, que pasa de 9 a 2,2-3,6 (mPa·s)/(gTS/l). Estos datos demuestran también que no es necesario realizar modificaciones en los sistemas de mezcla de los digestores anaeróbicos para poder implementar la tecnología. Se observaron también reducciones similares a la viscosidad en el *capillary suction time* (CST).

Otra ventaja importante del proceso de hidrólisis térmica es la mejora en la calidad microbiológica del lodo, variable que determina las posibilidades de uso y valorización posterior. Aunque la digestión anaeróbica permite reducir considerablemente la presencia de agentes patógenos en el lodo, no los elimina completamente. Sin embargo, en la hidrólisis térmica sí se consigue la esterilización completa (hasta las 0 UFC/g fango) del lodo secundario, eliminando la presencia de las bacterias *E. coli* y *Salmonella*.

La eficiencia de eliminación durante el proceso de los productos farmacéuticos y de cuidado personal (*pharmaceutical and personal care products*, PPCP), una de las familias de contaminantes emergentes más estudiada en los últimos años, también se evaluó como parámetro de calidad del lodo final. Los porcentajes de eliminación de estos contaminantes se sitúan entre un 82-100% para la mayoría de compuestos, valores entre un 45% y un 147% superiores a la digestión convencional. No se conoce con exactitud el mecanismo de degradación de estos compuestos, aunque esta mejora en la eficiencia de eliminación probablemente esté asociada a la alta tem-

peratura del proceso, ya que a estos niveles (165-180 °C) los compuestos orgánicos empiezan a degradarse.

4.3. Impacto sobre la formación de espumas

La producción de espumas en un digestor es uno de los problemas operacionales más importantes reportados de forma habitual en las EDAR, y afecta a la eficiencia del proceso y a los costes operacionales. La espuma puede formarse a causa de una gran multitud de factores, especialmente debido a la presencia de agentes surfactantes (aceites, grasas, detergentes, proteínas) y biosurfactantes (lipoproteínas, fosfolípidos, glucolípidos generados durante el metabolismo bacteriano), y a la presencia de bacterias filamentosas como *Nocardia sp* y *Microthrix sp*. El potencial de formación de espumas se evaluó mediante el criterio de Eikelboom para varias condiciones operacionales (temperatura, tiempo de retención), confirmando que el proceso de hidrólisis térmica Aqualysis es capaz de alcanzar una destrucción hasta nivel 2 de las bacterias filamentosas, reduciendo significativamente la formación de espumas en el digestor.

4.4. Impacto sobre la calidad del sobrenadante

Las características químicas del escurrido de centrífugas (o sobrenadante) se analizaron en detalle para evaluar las posibilidades de recuperación de nutrientes (N y P) que tendría dicha corriente. Durante la experimentación con el piloto demostrativo se observó que, en presencia del proceso de hidrólisis térmica en continuo, el sobrenadante de las centrífugas tenía en torno a un 40% adicional de nitrógeno en comparación con la digestión anaeróbica convencional. De esta forma, Aqualysis permitiría la recuperación de estos nutrientes del agua residual mediante procesos como la desorción con aire y la formación de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ o la precipitación de estruvita (NH_4MgPO_4), que necesitan altas concentraciones de nutrientes para ser económicamente viables.

5. Conclusiones

Aqualogy, como empresa especialista en soluciones y tecnologías del sector del agua, opera más de 300 EDAR en el mundo. Aqualysis, el proceso de hidrólisis térmica en continuo de Aqualogy, es una tecnología innovadora para alcanzar la autosuficiencia y la integración energética y minimizar el impacto ambiental del tratamiento de las aguas residuales.

6. Agradecimientos

A Fernando Fernández-Polanco, de la Universidad de Valladolid. 