

OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA EDAR. EL PROCESO DE HIDRÓLISIS TÉRMICA EN CONTINUO EXELYS™

LOS SISTEMAS TRADICIONALES DE HIDRÓLISIS TÉRMICA EN DISCONTINUO REQUIEREN ALTA INVERSIONES, TANTO EN TÉRMINOS DE ENERGÍA COMO DE CAPITAL. PARA SUPERAR ESTAS DEFICIENCIAS SE HA DESARROLLADO UN SISTEMA DE HIDRÓLISIS TÉRMICA EN CONTINUO, EXELYS™, MANTENIENDO UN ALTO NIVEL DE EFICACIA. EXELYS™ HA SIDO SOMETIDO A PRUEBAS PILOTO TANTO EN DINAMARCA COMO EN FRANCIA Y ACTUALMENTE ESTE PROCESO CUENTA CON REFERENCIAS EN LA BIORREFINERÍA DE BILLUND, DINAMARCA, Y EN MARQUETTE-LEZ-LILLE (FRANCIA).

Los lodos constituyen la mayor fuente de energía renovable disponible en una EDAR, lo que les convierte en un recurso muy importante que es conveniente aprovechar con la máxima eficiencia posible. La digestión anaerobia es considerada en la actualidad el sistema más eficaz de producción de biogás a partir de los lodos cuando se consigue mejorar en combinación con un proceso de hidrólisis térmica como pretratamiento. Sin embargo, los sistemas tradicionales de hidrólisis térmica - discontinuos o en *batch* -, son energéticamente muy intensivos y su implementación requiere también altas inversiones de capital. Para superar estas deficiencias Krüger A/S en colaboración con Veolia Water Technologies ha desarrollado en los últimos años un sistema de hidrólisis térmica de lodos en continuo - denominado Exelys™ -, que consigue un considerable ahorro de energía respecto a dichos sistemas tradicionales, obteniéndose el mismo nivel de rendimiento durante el proceso de tratamiento.

La tecnología Exelys™ ha sido sometida a pruebas piloto tanto en Dinamarca como en Francia y actualmente el proceso cuenta con sendas referencias en la Biorefinería de Billund (Dinamarca) y en la EDAR de Marquette-Lez-Lille (Francia), existiendo otras dos en fase de construcción. A través de su innovador diseño y el sistema de operación en continuo en modo flujo pistón de los lodos en el interior del reactor, Exelys™ -en cualquiera de sus configuraciones- puede considerarse la tecnología energéticamente más eficiente disponible en la actualidad para conseguir la hidrólisis térmica de los lodos. Los resultados obtenidos indican que el proceso Exelys™ tiene el potencial para convertirse en la piedra angular de toda EDAR que quiera avanzar hacia una autosuficiencia energética.

Generalidades de la hidrólisis térmica

Al considerar las opciones disponibles para reducir el coste energético y la huella de carbono en una EDAR, la digestión anaerobia de los lodos ha sido el proceso de referencia durante varias décadas, debido a que es un proceso relativamente simple y estable que produce gas metano (CH₄), transformando una parte significativa de la energía de los lodos en calor y electricidad. La digestión anaerobia sigue cuatro etapas de proceso: la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, siendo la hidrólisis el paso limitante en la reacción. Mejorando el rendimiento de la etapa de hidrólisis, los sustratos sólidos son más accesibles a las bacterias anaerobias lo que acelera la digestión, aumenta el volumen de biogás producido y disminuye la cantidad de lodo a ser eliminado. Una degradación anaeróbica más rápida también puede ahorrar volumen del digestor. La vía principal para lograr esta digestión de biogás mejorada es aplicar un proceso de pretratamiento a los lodos antes de la digestión. Se han estudiado como posibles pretratamientos para acelerar la hidrólisis de lodos tanto procesos térmicos como químicos, biológicos y mecánicos, así como combinaciones de todos ellos, pero la digestión mejorada de lodos a través de un pretratamiento térmico es hoy en día considerada como el mejor sistema para la recuperación de energía a partir de los lodos.

OPTIMISATION OF ENERGY EFFICIENCY AT A WWTP. THE EXELYS™ CONTINUOUS THERMAL HYDROLYSIS PROCESS

TRADITIONAL BATCH THERMAL HYDROLYSIS SYSTEMS REQUIRE HIGH INVESTMENT IN TERMS OF BOTH ENERGY AND CAPITAL. EXELYS, A CONTINUOUS THERMAL HYDROLYSIS SYSTEM THAT MAINTAINS A HIGH LEVEL OF EFFICIENCY WAS DEVELOPED TO OVERCOME THESE WEAKNESSES. EXELYS HAS BEEN PILOTTED IN DENMARK AND FRANCE AND NOW THIS PROCESS HAS REFERENCES AT THE BILLUND BIOREFINERY IN DENMARK, AND THE MARQUETTE-LEZ-LILLE WWTP IN FRANCE.

Sludge constitutes the largest source of renewable energy at a WWTP, making it a very important resource that should be availed of with the greatest possible efficiency. Anaerobic digestion is currently considered to be the most effective process for the production of biogas from sludge, and it can be enhanced in combination with pretreatment in the form of thermal hydrolysis. However, traditional batch thermal hydrolysis systems are very energy intensive and implementation of such systems requires high capital outlays. In recent years, to overcome this shortcoming, Krüger A/S, in cooperation with Veolia Water Technologies, has developed a continuous thermal hydrolysis system called Exelys™. This system achieves considerable energy savings compared to traditional systems, whilst providing the same level of performance during the pretreatment process.

Exelys™ technology has undergone pilot testing in Denmark and France, and the process is currently implemented at the Billund Biorefinery (Denmark) and the Marquette-Lez-Lille WWTP (France). A further two Exelys™ thermal hydrolysis facilities are currently under construction. Due to its innovative design and its continuous operation in piston flow mode within the reactor, Exelys™ -in all its configurations- can be considered the most energy efficient technology currently available to achieve thermal hydrolysis of sludge. The results obtained show that the Exelys™ process has the potential to become the cornerstone of all WWTPs wishing to progress towards energy self-sufficiency.

General principles of thermal hydrolysis

Amongst the different options available to reduce WWTP energy costs and carbon footprint, anaerobic digestion of sludge has been the benchmark process for many decades. This is because it is a relatively simple and stable process that produces methane gas (CH₄), enabling a significant amount of the energy in sludge to be converted into heat and electricity. There are four stages in the anaerobic digestion process: hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, and methanogenesis, with hydrolysis being the rate limiting step in the reaction. Improving performance in the hydrolysis stage makes the solid substrates more accessible to the anaerobic bacteria, which accelerates digestion, increases biogas production and reduces the quantity of sludge requiring removal. Faster anaerobic degradation can also reduce digester volume requirements. The main way of achieving this enhanced biogas digestion is to apply a pretreatment process to the sludge prior to digestion. Thermal, chemical, biological and mechanical processes, as well as combinations thereof, have been studied as pretreatments that could potentially accelerate sludge hydrolysis, but enhanced sludge digestion through thermal pretreatment is now considered the best system for energy recovery from sludge. In the thermal hydrolysis process, high temperatures and pressures are applied to the sludge for a certain time period.

En el proceso de hidrólisis térmica se aplican a los lodos altas temperaturas y presiones durante un determinado período de tiempo. La hidrólisis térmica se logra generalmente cuando se aplican temperaturas de entre 140-200 °C y presiones de 6 a 25,03 bar durante al menos 30 minutos. El lodo térmicamente hidrolizado es un producto que cumple con los requisitos de higienización Clase A, tiene una viscosidad muy baja (similar a la de licor mixto a una concentración de 8-10% de sólidos totales) y una alta concentración de DQO soluble. Estas condiciones dan lugar en la digestión anaerobia posterior a una producción de biogás significativamente mayor permitiendo ahorrar de 3 a 5 veces la energía necesaria para la mezcla y bombeo y a su vez a una menor cantidad de lodos. Otro resultado clave de la hidrólisis térmica es que la deshidratabilidad de la torta de lodos final mejora sensiblemente.

Los sistemas actualmente disponibles operan en modo discontinuo o en *batch*, lo que conduce a una utilización ineficiente de la energía y al sobredimensionamiento del equipamiento principal. Aunque estos sistemas de tratamiento son probados y eficaces, la inversión y los costes de operación asociados han restringido su aplicación sólo a grandes EDAR. La hidrólisis térmica en continuo potencialmente podría proporcionar ventajas al proceso para así superar las limitaciones presentes en la hidrólisis térmica en *batch*. El desarrollo de un proceso de hidrólisis térmica en continuo más eficiente y rentable podría revolucionar la digestión mejorada de los lodos y hacer más atractiva su implementación en una gama más amplia de EDAR, contribuyendo de esta forma a un aumento de la producción de energía sostenible.

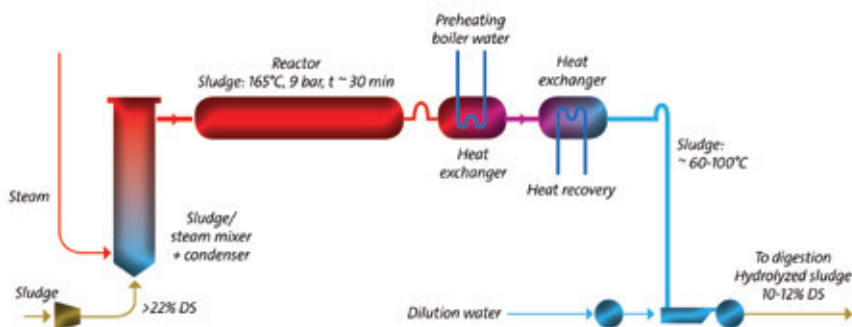
Descripción del proceso Exelys™

El proceso de hidrólisis térmica del lodo se lleva a cabo en el sistema Exelys™ tal y como se ilustra en la Figura 1. En su configuración más habitual - colocado antes de la digestión anaerobia en la EDAR -, los lodos previamente deshidratados - con un 20% a 25% de concentración media en sólidos conseguida a partir de un sistema de deshidratación mecánica convencional -, son bombeados desde un silo de almacenamiento de forma continua al reactor de hidrólisis.

La capacidad única de Exelys™ para hidrolizar lodos con tan alto contenido en sólidos presenta una ventaja significativa sobre la hidrólisis en discontinuo tradicional al haber menos agua que calentar. Por lo tanto, con Exelys™ se puede lograr el mismo efecto de hidrólisis con al menos un 30% menos del vapor.

A medida que los lodos entran en el sistema, el vapor es inyectado continuamente en su interior a través de una boquilla, condensándose y transfiriendo su energía en forma de calor a los lodos. A continuación, el lodo calentado pasa a través de un mezclador estático auto-limpiable que asegura una distribución homogénea del calor a través de la masa de lodo, lo que asegura que toda la energía disponible en el vapor inyectado sea utilizada eficazmente en el Exelys™, maximizándose así la eficiencia energética del proceso.

Figura 1: El sistema de hidrólisis térmica continua Exelys™ | Figure 1: Exelys™ continuous thermal hydrolysis system



Thermal hydrolysis is generally achieved when temperatures ranging from 140 °C to 200 °C and pressures of between 6 and 25.03 bar are applied for at least 30 minutes. Thermally hydrolysed sludge is a product that complies with Class A hygienisation requirements. It has a very low viscosity (similar to that of mixed liquor with a total solids content of 8-10%) and a high concentration of soluble COD. These conditions give rise to significantly higher biogas production in the subsequent anaerobic digestion stage and enable energy savings in mixing and pumping of between 3 and 5 times that normally required, whilst also resulting in a lower quantity of sludge. Another key benefit of thermal hydrolysis is the considerably enhanced dewaterability of the final sludge cake.

Currently available systems operate in batch mode, which results in inefficient use of energy and over-sizing of the main equipment. Although these treatment systems are proven and effective, high initial investment and operating costs have restricted their use to large WWTPs. Continuous thermal hydrolysis could potentially bring benefits to the process, thus overcoming the limitations of batch thermal hydrolysis. The development of a more efficient and cost effective continuous thermal hydrolysis process could revolutionise enhanced sludge digestion and make its implementation at a wider range of WWTPs more attractive, thus helping to increase the production of sustainable energy.

Description of the Exelys™ process

The thermal sludge hydrolysis process takes place in the Exelys™ system, as illustrated in Figure 1. In its most common configuration – arranged prior to anaerobic digestion at the WWTP -, the previously dewatered sludge – with an average solids concentration of 20% to 25% achieved by means of a conventional mechanical dewatering system -, is continuously pumped from a storage silo into the hydrolysis reactor.

The unique capacity of Exelys™ to hydrolyse sludge with such a high solids content affords a significant advantage over traditional batch hydrolysis because there is less water to be heated. Therefore, the same hydrolysis effect can be achieved with Exelys™ but with at least 30% less steam.

As the sludge enters the system, the steam is continuously injected through a nozzle. It condenses and its energy is transferred to the sludge in the form of heat. The heated sludge subsequently passes through an automatically cleaned static mixer, which ensures homogenous distribution of the heat through the sludge mass. This in turn ensures that all the available energy from the injected steam is used effectively in the Exelys™ system, thereby maximising the energy efficiency of the process.

The sludge is then sent through the reactor in piston flow mode. During its passage through the reactor the sludge is subjected, in a controlled manner, to a temperature of 165 °C and a pressure of 8 bar. Retention time in the reactor is approximately 30 minutes, which enables the sludge to acquire the treatment conditions necessary for hydrolysis. The sludge is cooled at the outlet of the reactor, - first by means of a heat exchanger and then through the addition of water – in order to reduce its temperature and dilute it to the required degree so that it can be sent directly to the WWTP anaerobic digestion process.

Exelys™ can be used in different process configurations. It is usually installed prior

A continuación los lodos son conducidos en modo de flujo pistón a través del reactor, sometiéndose de forma controlada durante su traslado a una temperatura de 165 °C y 8 bares de presión durante un tiempo de residencia de aproximadamente 30 minutos, lo que permite alcanzar las condiciones de tratamiento adecuadas que se requieren para hidrolizarlos. A la salida del reactor, los lodos son enfriados, - primero a través de un intercambiador de calor y finalmente mediante la adición de agua - con el fin de reducir su temperatura y diluirlos convenientemente, de forma que puedan ser incorporados a continuación directamente al proceso de digestión anaerobia en la propia EDAR.

Exelys™ puede ser utilizado en diferentes configuraciones de proceso. Normalmente, se instala antes de la digestión con todos los lodos o solamente con la fracción de lodos biológicos siendo hidrolizados antes de la digestión (Exelys™-LD). En ambos casos, la capacidad de cualquier digester existente puede ser incrementada de manera significativa, o reducida de igual modo la inversión en nuevos digestores. Esto podría proporcionar a un operador la posibilidad de importar lodos a la planta, lo que aumentaría la producción de biogás y la generación de ingresos tanto por la importación de lodos como por la exportación de la energía producida.

Sin embargo, si la capacidad del digester no es un problema, Exelys™ puede ser incorporado en una innovadora y patentada configuración de proceso, diseñada para optimizar la generación de electricidad y su cogeneración. La configuración del proceso se llama Exelys™-DLD y consiste en la incorporación de Exelys™ entre dos digestores, como se muestra en la Figura 2. Después de la digestión primaria, el volumen de los lodos se reduce y se mejora su deshidratabilidad. Esto permite una unidad de Exelys™ más pequeña en comparación con Exelys™-LD y una demanda de energía inferior. El lodo hidrolizado es entonces procesado por segunda vez, recuperando así el potencial de producción de biogás restante. El biogás puede utilizarse para la producción de electricidad, y el calor residual se recupera para operar el proceso Exelys™. Con esta configuración del sistema, la capacidad de los digestores no se mejora en comparación con la digestión convencional, pero la recuperación de energía a partir de los lodos se optimiza.

Conclusiones

A través de su innovador diseño y el sistema de operación en continuo en modo flujo pistón de los lodos en el interior del reactor, Exelys™ -en cualquiera de sus configuraciones- puede considerarse la tecnología energéticamente más eficiente disponible en la actualidad a escala industrial para conseguir la hidrólisis térmica de los lodos. Gracias a la operación en continuo del sistema, el alto contenido en sólidos de los lodos a la entrada del reactor y a un control efectivo del proceso, la tecnología de hidrólisis térmica en continuo Exelys™ consume considerablemente menos energía por unidad de lodo hidrolizado en comparación con los sistemas tradicionales en *batch*, ello sin mermar la eficiencia del proceso de hidrólisis.

De esta forma se consigue un importante aumento en la producción de biogás respecto a la digestión anaerobia convencional, a la vez que se genera una cantidad final de lodos a retirar de la EDAR considerablemente menor, lo que se traduce en un reducción significativa de los costes asociados a su disposición final. Exelys™ es asimismo un sistema modular y muy flexible que permite reducir los costes de inversión y de mantenimiento respecto a los de los sistemas en *batch*. Adicionalmente, las altas temperaturas y presiones a las que son sometidos los lodos en el interior del reactor aseguran su completa higienización, incrementándose de esta forma sus posibilidades de valorización.

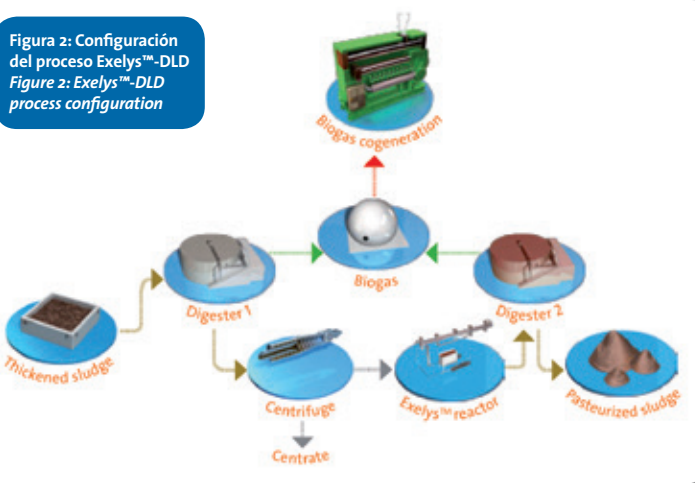


Figura 2: Configuración del proceso Exelys™-DLD
 Figure 2: Exelys™-DLD process configuration

to digestion for all the sludge or just a portion of the bio-sludge (Exelys™-LD). In both cases, the capacity of any existing digester can be significantly increased and investment in new digesters can be considerably reduced. This potentially provides the operator with the option of importing sludge into the plant, which would increase biogas output and revenues associated with both the importation of the sludge and the export of energy generated.

However, if digester capacity is not an issue, Exelys™ can be incorporated into an innovative, patented process configuration designed to optimise electricity generation and cogeneration. This process configuration is called Exelys™-DLD and consists of arranging the Exelys™ system between two digesters, as shown in Figure 2. After primary digestion, the volume of sludge is reduced and its dewaterability enhanced. This allows for a smaller Exelys™ unit, with lower energy requirements compared to the Exelys™-LD configuration. The hydrolysed sludge is then processed a second time and, in this way, the remaining biogas production potential is recovered. The biogas can be used to generate electricity and the residual heat recovered to operate the Exelys™ process. With this system configuration, digester capacity is not increased in comparison with conventional digestion, but energy recovery from the sludge is optimised.

Conclusions

Due to its innovative design and its continuous operation in piston flow mode within the reactor, Exelys™ -in all its configurations- can be considered the most energy efficient technology currently available to achieve thermal hydrolysis of sludge on an industrial scale. Thanks to the continuous operation of the system, the high sludge solids content at the inlet to the reactor and effective process control, Exelys™ continuous thermal hydrolysis technology consumes considerably less energy per unit of hydrolysed sludge than traditional batch systems, without affecting the efficiency of the hydrolysis process.

In this way, a significant increase in biogas is achieved compared to conventional anaerobic digestion, while the final quantity of sludge requiring removal from the WWTP is greatly reduced, with consequently lower costs associated with the disposal of this sludge. Exelys™ is also a modular and very flexible system that

enables reduced investment and maintenance costs in comparison to batch systems. Moreover, the high temperatures and pressures to which the sludge is subjected inside the reactor ensure complete hygienisation, thereby increasing the potential for recovery.

Juan Carlos Rodrigo, José de Castro
 Veolia Water Technologies – Ibérica.