

DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS DE DEPURADORA: ¿BIOGÁS O BIOSÓLIDO?

EN ESTE ARTÍCULO, BASADO EN DATOS REALES DE 20 DEPURADORAS ESPAÑOLAS DE DIVERSOS TAMAÑOS, SE ANALIZA LA ESTRUCTURA DE COSTES DE OPERACIÓN DE LAS EDAR Y LAS OPORTUNIDADES DE REDUCIRLOS MEDIANTE PROCESOS DE HIDRÓLISIS TÉRMICA DE SEGUNDA GENERACIÓN COMO EL DE TECH4+.

Costes de operación de las EDAR

En España, la mayoría de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) municipales de tamaño medio o grande se ajustan al esquema convencional de fangos activos en la línea de agua y digestión anaerobia en la línea de fangos. Al analizar su estructura de costes de operación, se observa que dos de las mayores partidas son la compra de electricidad y la gestión del residuo (Figura 1). Aunque el coste imputable a dichos conceptos es función del tamaño y la localización de la EDAR, como promedio representan la mitad de los costes de operación.

Controlar estos costes es clave para garantizar una depuración eficiente. Por ello, y para explorar el potencial de mejora en las dos partidas destacadas, se han recabado datos reales de 20 EDAR municipales en España, con un rango de tamaños desde 60.000 hasta 650.000 habitantes equivalentes. En la Figura 2 se recogen los costes en electricidad y gestión de lodo para esas 20 EDAR, representadas en función de tamaños crecientes. El coste total de electricidad y gestión de residuos varía entre 200 y 2.400 k€/año. Analizando, para el conjunto de plantas, los precios de electricidad (Figura 3) y de gestión de lodo (Figura 4), se observa que el coste de electricidad es más constante, variando entre 0,076 y 0,130 €/kWh, mientras que el coste de gestión de fangos (incluyendo transporte) varía enormemente entre 2,5 y 55,0 €/ton. Los precios medios son 0,095 €/kWh y 21,3 €/ton respectivamente.

En promedio, una EDAR de 250.000 habitantes equivalentes gasta 760 k€/año en estos dos conceptos: 415 k€/año en electricidad y 345 k€/año en gestión de residuo. Esta planta media utiliza 0,35 kWh de electricidad por m³ de agua tratada, y genera internamente cerca del 50% de su consumo eléctrico total.

Dicha electricidad se genera normalmente en motores que queman el biogás producido en la digestión anaerobia de fangos. Este mismo proceso es el responsable de la reducción en volumen de los fangos finales, es decir, del residuo a gestionar. Dado que el proceso anaerobio está en el centro de ambos asuntos, parece lógico, al tiempo que se exploran opciones para reducir el consumo eléctrico (ej. con medidas de eficiencia energética en los sistemas de aireación), explorar en detalle los mecanismos y potencial de mejora de la digestión anaerobia.

Digestión anaerobia e hidrólisis térmica

A partir del esquema de etapas en serie paralelo, comúnmente aceptado para la digestión anaerobia de materia orgánica 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 pre-tratamiento cuyo objetivo es acelerar la etapa de hidrólisis, mejorando la velocidad de degradación de la materia particulada y por ende la cinética de producción de biogás.

ANAEROBIC DIGESTION OF WWTP SLUDGE: BIOGAS OR BIOSOLIDS?

THIS ARTICLE, BASED ON REAL DATA FROM 20 SPANISH WASTEWATER TREATMENT PLANTS, ANALYSES WWTP OPERATING COSTS, AND OPPORTUNITIES TO CUT THESE COSTS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF SECOND GENERATION THERMAL HYDROLYSIS PROCESSES, SUCH AS TECH4+ TECHNOLOGY.

WWTP operating costs

In Spain, most medium and large-sized municipal Wastewater Treatment Plants (WWTPs) have conventional activated sludge processes in the water line and anaerobic digestion processes in the sludge line. Analysis of operating costs shows that two of the highest costs are associated with the purchase of power and waste management (Figure 1). Although these costs vary depending on the size and location of the WWTP, on average, they account for 50% of operating costs.

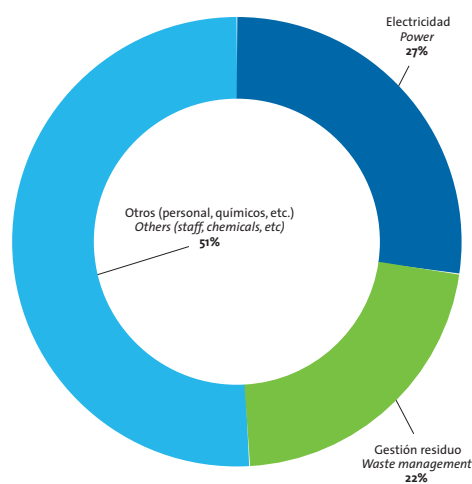
Controlling these costs is vital in order to ensure efficient water treatment. For this reason, with a view to exploring the potential for improvement in these two main costs, real data was collected from 20 municipal WWTPs in Spain, with population equivalents ranging from 60,000 to 650,000. Figure 2 shows power and sludge management costs for the 20 WWTPs, which are represented in increasing sizes. Total power and sludge management costs range from €200,000 to €2,400,000/annum.

Analysing total power and sludge management costs for all the plants, Figure 3 shows that the cost of power is more constant, ranging from €0.076 to €0.130/kWh, while Figure 4 shows that sludge management costs (including transport) vary enormously, from €2.50 to €55/tonne. Average costs for power and sludge management are €0.095/kWh and €21.3/tonne respectively.

On average, a 250,000 p.e. WWTP spends €760,000/annum on these two items: €415,000/annum on power and €345,000/annum on waste management. The average plant uses 0.35 kWh of power per cubic metre of treated water, and generates approximately 50% of its total power consumption in-house.

This power is normally generated by means of gas engine that burn the biogas produced in the sludge anaerobic digestion. This process also reduces the final sludge volume, i.e., the waste requiring management. Given that the anaerobic digestion process is at the centre of both matters, it is logical to explore in detail the mechanisms and potential for improvement of the anaerobic digestion process, whilst also, of course, exploring options to reduce power consumption (e.g., implementing energy efficiency measures in aeration systems).

Figura 1. Costes de operación de una EDAR promedio
Figure 1. Operating costs of an average WWTP



Fuente: elaboración propia a partir de datos de www.costwater.com
Source: own resources based on data from www.costwater.com

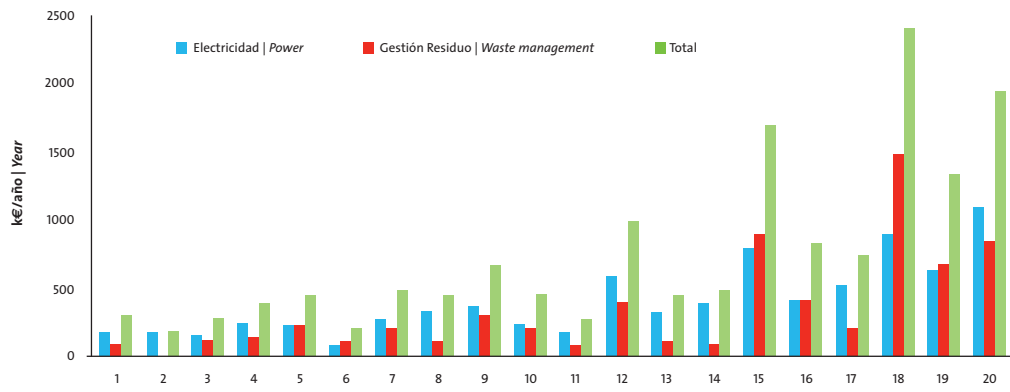


Figura 2. Costes de electricidad y gestión de residuo en 20 EDAR municipales españolas | Figure 2. Power and sludge management costs for 20 municipal WWTPs in Spain

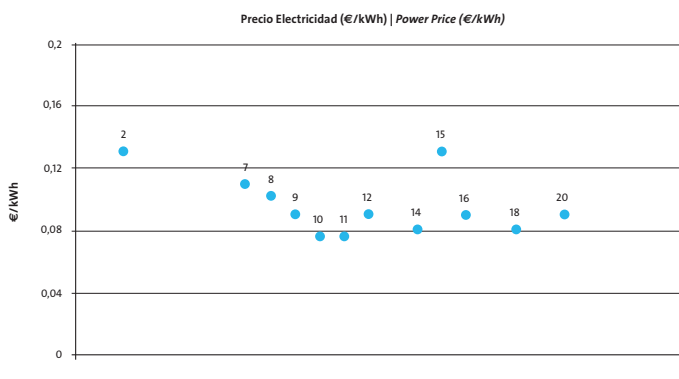


Figura 3. Precio de electricidad en 20 EDAR municipales españolas | Figure 3. Power price at 20 municipal WWTPs in Spain

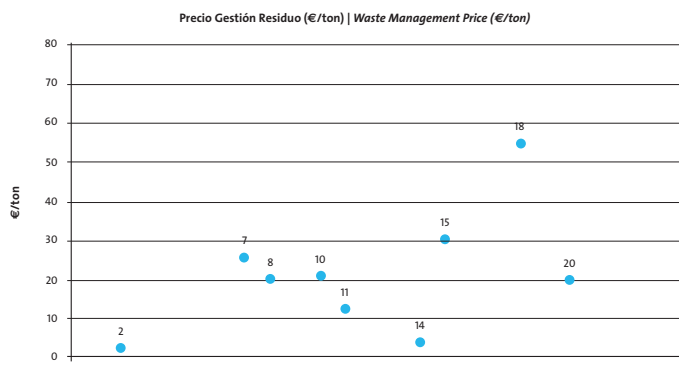


Figura 4. Precio de gestión de residuo en 20 EDAR municipales españolas | Figure 4. Sludge management price at 20 municipal WWTPs in Spain

Existe numerosa bibliografía con resultados experimentales a escala laboratorio para las diferentes tecnologías físicas, químicas y biológicas propuestas como pre-tratamiento de lodos en EDAR. Sin embargo, las referencias de instalaciones comerciales de escala industrial son mucho más reducidas (Cano et al. 2015, Sridhar Pilli et al. 2015, Ariunbaatar et al. 2014, Carrere et al. 2010, Pérez-Elvira et al. 2006). Sin entrar a comparar estas tecnologías, y de acuerdo con la bibliografía, la hidrólisis térmica ofrece las mejores características técnicas y energéticas (Cano et al. 2015). Esto, y sus ventajas económicas, hacen que la hidrólisis térmica se esté imponiendo como el pre-tratamiento más extendido para mejorar el rendimiento de la digestión anaerobia. Sus principales ventajas son:

1. Aumenta hasta en un 35% el rendimiento de biogás.
2. Mejora la deshidratabilidad y disminuye hasta en un 45% el volumen de fangos producidos.

Anaerobic digestion and thermal hydrolysis

Based on the configuration of series and parallel reactions, commonly accepted for the anaerobic digestion of particulate organic matter, the initial hydrolysis or solubilisation stage is the slowest and it controls the global kinetics of the process. A number of pretreatment technologies have been suggested with the aim

of accelerating the hydrolysis

stage, improving the degradation velocity of the particulate matter and, therefore, the kinetics of biogas production.

A large body of literature features the results of laboratory experiments for the different physical, chemical and biological technologies proposed for sludge pretreatment in WWTPs. However, there are far fewer references to the results of commercial facilities on an industrial scale (Cano et al. 2015, Sridhar Pilli et al. 2015, Ariunbaatar et al. 2014, Carrere et al. 2010, Pérez-Elvira et al. 2006).

Without entering into a technology comparison, the literature indicates that thermal hydrolysis offers the best solution both technically and in terms of energy efficiency (Cano et al. 2015). This, alongside the associated economic benefits, has seen thermal hydrolysis become the pretreatment of choice for improving the efficiency of anaerobic digestion. The main advantages of thermal hydrolysis are:

1. Increases biogas yield by up to 35%.
2. Improves dewaterability and reduces volume of sludge produced by up to 45%.
3. Hygienises/pasteurises the final sludge, which qualifies as EPA Class A.
4. Doubles the anaerobic digesters loading rate.
5. Contributes to lower emissions and to the circular economy.

Limitations of thermal hydrolysis

Although thermal hydrolysis has undeniable advantages, most of the commercially available processes have limitations that must be borne in mind when selecting technologies. The key limitations are:

Mechanisms. Not all technologies integrate the two hydrolysis mechanisms (thermal and steam explosion), despite the fact that the literature indicates that it is important to have steam explosion because it is the dominant mechanism.

Energy consumption. Few processes manage to recover all the heat from the process vapours in order to minimise energy consumption and costs.

Size. Batch technologies double or triple up on equipment in order to approximate pseudo-continuous conditions. This means that the size and cost of the plant is higher than that of continuous systems that require smaller equipment.

Temperature. Most processes operate at temperatures below 180°C to avoid secondary reactions. It is possible, however, to

- Higieniza/pasteuriza el fango final, que cualifica como Clase A de la EPA.
- Duplica la tasa de carga a los digestores anaerobios.
- Contribuye a la reducción de emisiones y a la economía circular.

Limitaciones de la hidrólisis térmica

Aunque la hidrólisis térmica presenta innegables ventajas, la mayoría de los procesos comerciales manifiestan limitaciones que hay que considerar al seleccionar tecnología. Las más relevantes son:

Mecanismos. No todas las tecnologías integran los dos mecanismos de hidrólisis (térmico y explosión de vapor), aunque la literatura demuestra que es importante contar con el segundo dado que es el mecanismo dominante.

Consumo energético. Pocos procesos consiguen recuperar todo el calor de los vapores de proceso para minimizar el consumo y los costes energéticos.

Tamaño. Las tecnologías por lotes (batch) duplican o triplican equipos para acercarse a condiciones pseudo-continuas. Esto hace que el tamaño de la planta, y su precio, sea mayor que en los sistemas continuos que requieren menores equipos.

Temperatura. La mayoría de los procesos operan a temperaturas menores de 180°C para evitar reacciones secundarias. Se pueden alcanzar, sin embargo, mayores temperaturas durante tiempos extremadamente cortos para que dichas reacciones no ocurran de forma significativa. Esto aumenta la eficacia del proceso y permite optimizar la secuencia de operación.

Control. Las tecnologías que operan en régimen estacionario mantienen constantes las variables de proceso, alcanzando una operación más estable y fácil de controlar que la de los procesos no estacionarios.

Mantenimiento. La utilización de equipos mecánicos como bombas y cambiadores de calor supone un mayor coste de mantenimiento, por lo que los diseños que evitan estos equipos para presurizar y acondicionar un fluido viscoso y abrasivo son mucho más baratos de mantener.

Los procesos de hidrólisis térmica de segunda generación como el de teCH₄+ integran los dos mecanismos de hidrólisis, están energéticamente integrados para recuperar el 100% del calor, son continuos y por tanto muy compactos, alcanzan temperaturas más altas y superan la secuencia convencional de operación, tienen bajos costes de mantenimiento al no utilizar bombas ni cambiadores de calor y operan en régimen estacionario y por ello con sistemas más sencillos de control.

Potencial de reducción de los costes de operación

Combinando los costes de la EDAR promedio de 250.000 habitantes equivalentes y los beneficios citados de la hidrólisis térmica, se estimarían unos beneficios medios de 300 k€/año (145 k€/año en electricidad y 155 k€/año en gestión de residuo). De hecho, la percepción generalizada es que la mayoría de los ahorros se deben a la mayor producción de biogás y electricidad cuando, en el mejor de los casos, estos representan algo menos de la mitad del beneficio. La realidad, sin embargo, es bien distinta.

Los datos empíricos recopilados muestran que en muchas ocasiones la digestión anaerobia está sobredimensionada, con tiempos hidráulicos de residencia (THR) de 30 días en promedio (Figura 5). Más de la mitad de las EDAR tienen un THR por encima de 25 días, por lo que sus microorganismos anaerobios disponen de suficiente tiempo para digerir la materia biodegradable. En esta situación, el

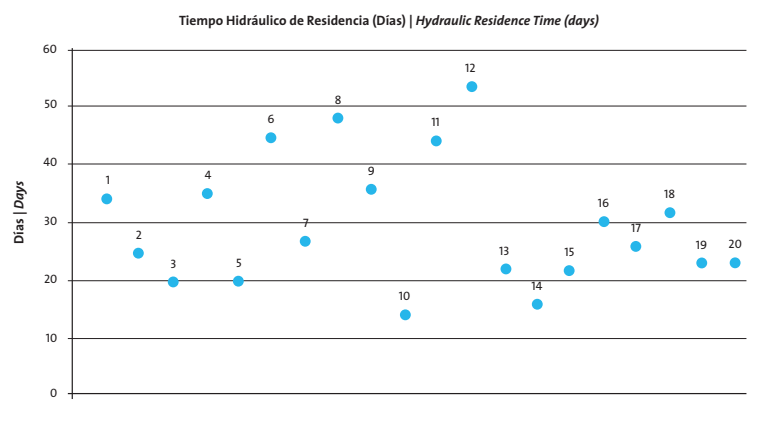


Figura 5. Tiempo hidráulico de residencia (THR) en 20 EDAR municipales españolas | Figure 5. Hydraulic retention time (HRT) at 20 municipal WWTPs in Spain

reach higher temperatures for extremely short periods of time so that the extent of these reactions is not significant.

Control. Technologies operating in steady-state keep process variables constant, achieving more stable and easy-to-control operation than that of non-steady state processes.

Maintenance. The use of mechanical equipment, such as pumps and heat exchangers results in higher maintenance costs. Therefore, designs that do not include such equipment for the pressurisation and conditioning of a viscous, abrasive fluid are far cheaper to maintain.

Second generation thermal hydrolysis processes, such as teCH₄+ technology, integrate the two hydrolysis mechanisms, are energy-integrated in order to recover 100% of the heat, are continuous and therefore very compact, reach higher temperatures and improve the conventional operating sequence, have low maintenance costs as a result of the non-implementation of pumps or heat exchangers, and operate in steady state, making them easier to control.

Operating costs reduction potential

Combining the costs of an average 250,000 p.e. WWTP and the aforementioned benefits of thermal hydrolysis, the average estimated reduction in operating costs would be €300,000/annum (€145,000/annum in power and €155,000/annum in waste management). Although the general perception is that most of the savings would come from higher biogas and power production, in the best of cases, this would actually only account for less than half of the savings.

The real situation is quite different. Collected empirical data shows that the anaerobic digestion process is often over-sized, with hydraulic residence times (HRT) of an average of 30 days. (Figure 5).

Over half of the WWTPs have an HRT of over 25 days, so the anaerobic microorganisms have sufficient time to digest the biodegradable matter. In this situation, the increase in biogas yield achieved by the installation of a pretreatment process is not very significant. In cases where the HRT is over 40 days, the increase in biogas yield would be almost negligible.

Bearing this in mind, average real savings would be €210,000/annum (€55,000/annum in power and €155,000/annum in waste management). These savings are significantly lower due to the fact that the biogas yield increases by 13% rather than the expected 35% for the design HRT.

aumento en la producción de biogás al instalar un pre-tratamiento será poco significativo. En los casos en los que el THR es mayor de 40 días, este aumento será prácticamente nulo.

Considerando esto, los ahorros reales promedian 210 k€/año (55 k€/año en electricidad y 155 k€/año en gestión de residuo) y son significativamente menores dado que el rendimiento de biogás aumenta un 13% y no el 35% esperado para THR de diseño. Así, sólo el 26% de los beneficios provienen de la electricidad, mientras que el 74% son debidos a la reducción volumétrica del fango y a la consiguiente disminución en sus costes de gestión.

La estimación anterior mantiene idéntico precio de gestión del fango antes y después de instalar la hidrólisis térmica. Sin embargo, como el pre-tratamiento higieniza el lodo, es posible que este se pueda “regalar” a los agricultores locales (es decir, vendérselo a coste cero). En este supuesto, los ahorros prácticamente se duplican hasta 400 k€/año (los mismos 55 k€/año en electricidad y 345 k€/año en gestión de residuo), con los fangos aportando el 86% del beneficio total.

En EE.UU. es patente esta situación en la que el lodo es el factor controlante, ya que el interés por la hidrólisis térmica se enmarca siempre en proyectos de gestión de fangos en los que el biogás es un actor secundario. De hecho, esta tecnología ha comenzado a implantarse allí a raíz de un cambio regulatorio en los requisitos para la aplicación agrícola de lodos de depuradora, que ahora tienen que ser Clase A de la EPA. Cambio regulatorio que tiene grandes visos de replicarse en Europa y que otorgará a las EDAR que cuenten con sistemas de higienización de fangos una posición muy ventajosa.

Las conclusiones más evidentes de este estudio de reducción de costes de operación de EDAR son:

- Dos de los mayores costes de operación de una EDAR son la electricidad y la gestión del residuo, y ambos se pueden reducir optimizando la digestión anaerobia.
- Los estudios de viabilidad para mejorar la digestión anaerobia deben centrarse más en el lodo que en el biogás.
- Al seleccionar tecnologías de pre-tratamiento a la digestión anaerobia, son convenientes los procesos que mejoran la deshidratabilidad e higienización del fango, dejando en segundo plano aquellos que solo aumentan la producción de biogás.
- Frente a las tecnologías convencionales, los procesos de hidrólisis térmica de segunda generación como el que ofrece teCH4+ presentan indudables ventajas y ofrecen periodos de retorno de inversión inferiores a 4 años.

Therefore, only 26% of the savings come from power, while 74% are due to the reduction in sludge volume and consequently lower management costs. The above estimate assumes identical sludge management costs before and after the installation of the thermal hydrolysis process. However, as the pretreatment hygienises the sludge, this sludge can now be given free of charge (i.e., sold at no cost) to local farmers. In this case, the savings would almost double to €400,000/annum (the same €55,000/annum saving on power and a €345,000/annum saving on waste management), with savings in sludge management accounting for 86% of the total saving.

This situation with sludge as the controlling factor is illustrated by the USA, where thermal hydrolysis plants are always part of larger sludge management projects in which biogas is a secondary actor. In fact, thermal hydrolysis technology began to be implemented in the USA as a result of legislative changes in the requirements for the application of WWTP sludge in agriculture. Only EPA Class A sludge can now be used for agricultural purposes. Such a regulatory change is very likely to occur also in Europe, which would put WWTPs with sludge hygienisation systems in a very advantageous position.

The most obvious conclusions of this study on reducing WWTP operating costs are:

- Two of the highest WWTP operating costs are power and waste management, and both can be reduced by optimising anaerobic digestion.
- Feasibility studies on improving anaerobic digestion should concentrate more on sludge than on biogas.
- When selecting anaerobic digestion pretreatment technologies, processes that improve sludge dewaterability and hygienisation should be prioritised over processes that merely increase biogas yield.
- Second generation thermal hydrolysis processes, such as teCH4+ technology, have undeniable advantages over conventional technologies, and result in payback periods below 4 years.



Diego F. Polanco

Co-fundador y Director de Operaciones teCH4+
teCH4+ Co-founder and Managing Director

teCH4+

Hidrólisis Térmica de 2ª Generación
Integración Energética en Procesos de Digestión Anaerobia Avanzada

Second-Generation Thermal Hydrolysis
Energy Integration in Advanced Anaerobic Digestion

2014

www.tech4plus.com

Analisis de Puntos Procesos teCH4+
Consumo Energía Caliente Consumo Energía Fría Water