

Codigestión en EDARs urbanas. Experiencias y suficiencia energética del proceso de tratamiento de lodos

PEDRO AGUILÓ MARTOS (*), ÁNGEL FREIXÓ REY (**) y RUT ESTANY BARRERA (***)

RESUMEN La digestión anaerobia es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para la estabilización y reducción de los lodos generados en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR). Esta tecnología permite tratar los lodos según el marco legal actual, minimizando el volumen de este residuo, y produciendo biogás útil para la generación de energía en una instalación de cogeneración, lo que se traduce en una reducción de los costes de operación de la instalación.

El siguiente escrito presenta un complemento para optimizar el funcionamiento de las instalaciones de digestión anaerobia: la codigestión anaerobia. En el marco de esta alternativa, las infraestructuras de digestión anaerobia son adecuadas para tratar de forma conjunta y en la misma unidad de digestión, lodos, productos, subproductos o residuos de origen agrícola, alimentario e incluso industrial (con fuertes limitaciones en cuanto a contenidos contaminantes o tóxicos), incrementando de forma notable la producción de biogás. En algunas situaciones el biogás generado, adecuadamente tratado, puede satisfacer la demanda eléctrica total de una EDAR e incluso superarla, permitiendo la exportación del excedente generado a la red eléctrica de distribución, según diferentes modelos de retribución económica.

Así mismo, en este documento se describen las diferentes etapas para la implementación del proceso de codigestión anaerobia en una EDAR, desde la sistemática para la búsqueda de productos en el mercado de residuos o subproductos, pasando por el dimensionamiento y legalización de la instalación receptora y de dosificación del producto a digestión, su puesta en marcha y su posterior consolidación en la operativa del día a día de la EDAR.

El artículo se acompaña con la ejemplificación de los resultados obtenidos con la implementación del proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu de Llobregat, ubicada en la provincia de Barcelona.

CODIGESTION AT MUNICIPAL WWTP'S. EXPERIENCES AND ENERGY SUFFICIENCY OF A SLUDGE TREATMENT PROCESS

ABSTRACT *Anaerobic digestion is one of the most widely used technologies for the stabilisation and reduction of the sludge generated in a Waste Water Treatment Plant (WWTP). This technology allows the sludge to be treated within the current regulations, reducing the sludge volume and producing the usefull biogas which can be used for power generation at a cogeneration plant, resulting in a reduction in the operating costs of the installation.*

The following article presents a complement to optimize the operation of anaerobic digestion installations: the anaerobic codigestion. Anaerobic digestion facilities are adequate for the combined treatment, in the same digestion units, of sludge, agricultural products or subproducts, food wastes, and even industrial wastes (with strict limitations on wastes containing toxic contaminants), thereby increasing, notably, the biogas production. In some cases the biogas generated, with adequate treatment, can satisfy the total electricity demand of a WWTP and even produce an excess, thus allowing the export of the surplus energy to the electricity distribution network, according to different economic retribution models.

Likewise, this document describes the different stages necessary to implement the anaerobic codigestión process in a WWTP, from the systematic search for products in the waste or subproduct market through the sizing and legalization of the reception facility, the dosing of the product to the digester, commissioning and its incorporation into the routine operation of the WWTP.

The article presents the results obtained from the incorporation of an anaerobic codigestion process in the Sant Feliu de Llobregat WWTP situated in the Barcelona province.

Palabras clave: Digestión Anaerobia, Codigestión, Eficiencia energética, Valorización de residuos, EDAR.

Keywords: Anaerobic digestion, Codigestion, Energy efficiency, Waste valorisation, WWTP.

(*) Ingeniero Industrial. Director de explotación, EMSSA. (Empresa Metropolitana de Saneamiento, S.A.). E-mail: paguilo@emssa.com

(**) Ingeniero Industrial. Gerente, SISltech. E-mail: afreixo@sisltech.net

(***) Ingeniero Técnico Industrial y licenciada en Ciencias Ambientales. Jefe de planta EDAR Sant Feliu, EMSSA (Empresa Metropolitana de Saneamiento, S.A.). E-mail: restany@emssa.com

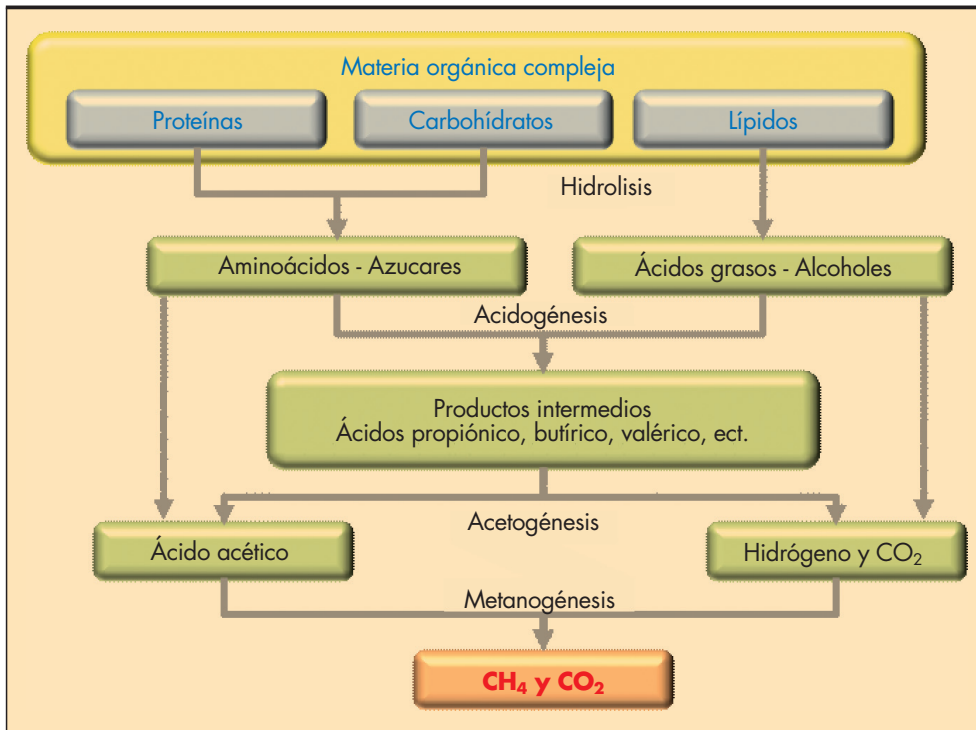


FIGURA 1. Etapas de la codigestión anaerobia.

1. INTRODUCCIÓN

Como es conocido, el proceso de digestión anaerobia se desarrolla en las cuatro etapas siguientes (Figura 1).

- Etapa hidrolítica, en la que los compuestos orgánicos complejos (lípidos, proteínas e hidratos de carbono) son despolimerizados por acción de enzimas hidrolíticas en moléculas solubles fácilmente biodegradables (aminoácidos, azúcares, ácidos grasos de cadena larga, alcoholes, etc.).
- Etapa acidogénica, en la que los compuestos solubles resultantes de la etapa anterior son transformados en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles).
- Etapa acetogénica, en la que los compuestos intermedios son transformados por microorganismos acetogénicos, dando como producto final ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono.
- Etapa metanogénica, en la que el ácido acético, el hidrogeno y el dióxido de carbono son transformados en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

La codigestión en EDAR más ampliamente extendida se basa en la inserción en el sistema de digestión anaerobia de productos en forma líquida que no han de ser hidrolizados (azúcares, alcoholes, etc.) y pueden entrar directamente en las etapas posteriores de acidogénesis, acetogénesis o metanogénesis, de esta forma evitamos una de las fases que es la hidrolisis y una vez tenemos suficientes bacterias metanogénicas en el sistema, después de transcurrido su periodo de crecimiento y estabilización (alrededor de diez días), la respuesta del sistema en cuanto a producción de metano respecto a alimentación de producto es muy rápida, siendo del orden de minutos.

La potencialidad de la digestión se justifica en la consideración de que en un sistema anaerobio la DQO es un pará-

tro conservativo (Energía de la Biomasa, IDAE, 2007) es decir, en un digestor anaerobio:

$$DQO \text{ entrada} = DQO \text{ fango salida} + DQO \text{ de biogás}$$

Así pues y sabiendo que el biogás producido está formado mayoritariamente por metano CH₄ (65%) y CO₂ (35%) y que la DQO del CO₂ es nula, resultaría que:

$$DQO_{\text{metano}} = DQO \text{ fango entrada} - DQO \text{ fango salida}$$

$$DQO_{\text{metano}} = DQO \text{ eliminada en digestión} = 2,857 \text{ KgDQO/m}^3 \text{ CH}_4$$

Es decir, por cada Kg de DQO que se elimina en el proceso de digestión, se producen 0,35m³ de CH₄ en condiciones normales de presión y temperatura, lo que aplicando el poder calorífico inferior (PCI) típico del biogás de 6 Kw/Nm³, nos da un potencial energético de 2 Kw/Kg DQO eliminada.

Una vez justificado el potencial de generación de energía asociado a la codigestión queda claro que se trata de aportar a la instalación de digestión la mayor cantidad de Kg de DQO fácilmente eliminables, bien sea en forma sólida o líquida.

Con la dosificación de residuos sólidos, por ejemplo para residuos alimentarios procedentes de supermercados como alimentos caducados o en mal estado o bien FORM (fracción orgánica) de las estaciones de clasificación de residuos sólidos urbanos, será necesario un pretratamiento de adaptación y trituración, (Figuras 2 y 3).

Con la dosificación en forma líquida, la más extendida en EDAR, es simplemente necesaria una instalación equipada con un silo de almacenaje y una bomba dosificadora (Figura 4), con sus filtros de seguridad para improprios adecuados, siendo ésta el tipo de instalación que se describe en los apartados siguientes de este escrito

Paralelamente y con el fin de obtener el máximo beneficio económico de la generación de energía eléctrica a partir del biogás producido, se pueden realizar las transformaciones necesarias para operar la EDAR en régimen de todo/todo: ven-



FIGURA 2. Recepción de producto sólido a tolva de recepción (Sistema ECRUSOR, Veolia).



FIGURA 3. Trituración y acondicionamiento residuo sólido (Sistema ECRUSOR, Veolia).

der toda la energía que se genera y comprar toda la que se consume, de acuerdo a lo contemplado en el RD661/2007 y dentro del grupo de generadores con biogás b7.2. Esta última acción se pudo llevar a cabo en la EDAR de Sant Feliu, al haberse tramitado su inscripción en el registro de productores en régimen especial (RIPRE) en fecha previa al decreto ley 1/2012 que suprime las primas y bonificaciones a la venta a red de energía eléctrica.

La Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Sant Feliu, es una planta de tratamiento biológico con eliminación de nutrientes que trata 17.000.000 m³ al año e incluye un de tratamiento terciario de regeneración para el aprovechamiento final de parte de su efluente en agricultura o riego de campos de golf.

El fango producido por la EDAR, tras un espesamiento por gravedad hasta el 5%, se bombea a una digestión anaeróbica compuesta por dos digestores de 6.000 m³ de capacidad cada uno, donde de forma habitual se trabaja con tiempos de retención superiores a 30 días y cargas de alimentación no superior

res a 1,8 Kg·m⁻³·día⁻¹. Tras su digestión, el fango se deshidrata mediante centrífuga hasta niveles de sequedad cercanos al 25%, siendo su disposición final principalmente el compostaje agrícola.

A raíz de la capacidad excedente en digestión anaerobia de la planta, evidenciada por los elevados tiempos de retención y la baja carga de alimentación a digestión, se decidió potenciar la producción de biogás de la digestión mediante la implementación del proceso de codigestión anaerobia con el objetivo de aumentar y modular la producción de biogás, de forma que permitiera mantener el actual motor de cogeneración trabajando a su máxima potencia permanentemente.

2. PROCESO DE SELECCIÓN DE PRODUCTOS APTOS PARA LA CODIGESTIÓN ANAEROBIA

La selección de productos es una etapa clave para garantizar que el proceso de codigestión anaerobia se desarrolle de forma robusta, segura y eficiente. Los productos aptos para su codi-



FIGURA 4. Recepción y descarga de producto en líquido EMSSA- Sant Feliu, SISltech.

gestión anaerobia con lodos de EDAR deben cumplir como mínimo los siguientes requisitos:

- Formato líquido para reducir costes de inversión y problemas de operación.
- Productos de origen agrícola, alimentario y/o industrial con una elevada concentración de materia orgánica (DQO > 200.000 mg O₂·L⁻¹) fácilmente biodegradable.
- No tóxicos para el proceso de codigestión anaeróbica.
- Baja concentración de nitrógeno y fósforo.
- Baja concentración de materia no biodegradable en el proceso de codigestión anaerobia, con el fin de no incrementar la producción de lodos de la EDAR.
- Volumen suficiente de producto para garantizar la continuidad del proceso de codigestión anaerobia.
- Centro de producción del producto cercano a la EDAR.
- Ausencia de metales pesados, con el fin de no comprometer la idoneidad del fango digerido según el RD1310/1990 sobre la posible aplicación a suelo agrícola.

Para determinar la bondad de los productos, se implementó un protocolo que consta de las siguientes fases:

- Fase 1 - Origen del producto: El punto de partida para determinar la viabilidad de los productos para la codigestión anaerobia de lodos de EDAR fue la identificación y evaluación de su procedencia y del proceso productivo.
- Fase 2 – Caracterización fisicoquímica: A continuación se realizó una caracterización fisicoquímica del producto, en la que se determinó: DQO, NTK, metales, pH y conductividad. De forma paralela a la evaluación de

estos parámetros se realizó, según el origen del producto, una espectrometría de masas o una cromatografía de gases.

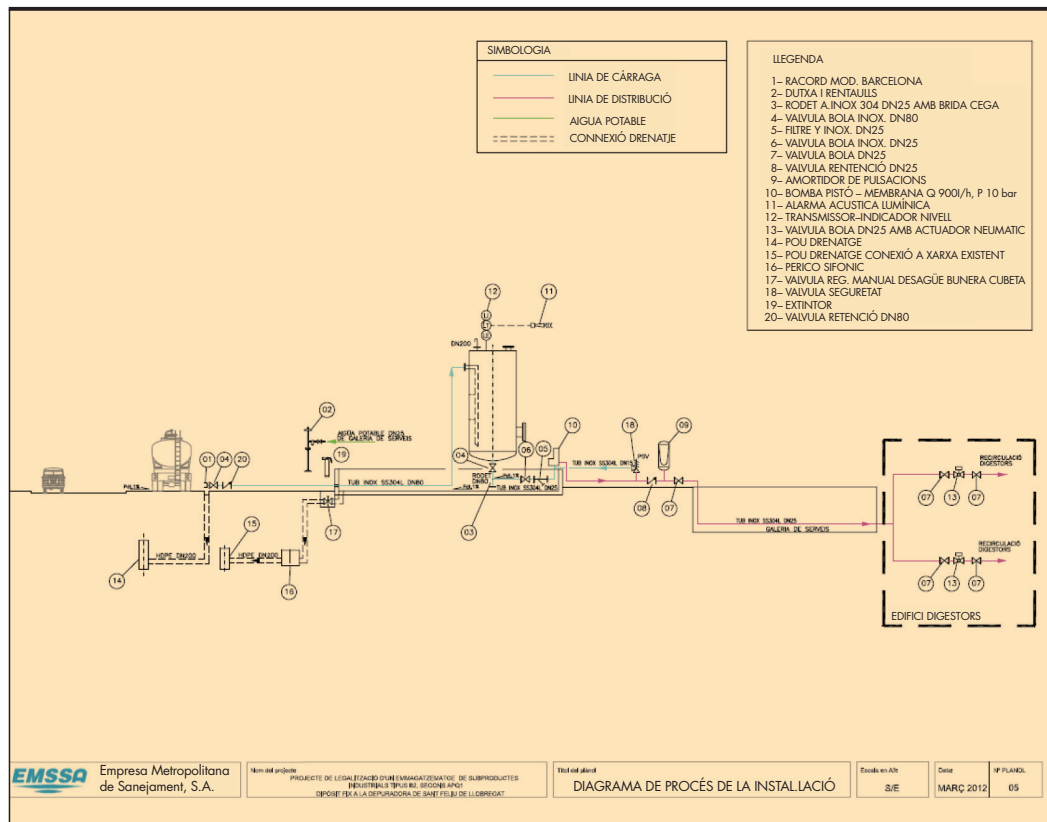
- Fase 3 – Respirimetría anaerobia: Con los productos que superaron la Fase 2 se realizó una respirometría anaerobia para determinar su potencial de biodegradabilidad y potencial metanogénico, en condiciones anaerobias similares a las del proceso de codigestión anaerobia de lodos.

Sólo los productos inicialmente identificados que superaron todas las fases, fueron considerados aptos para el proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu.

3. DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA

La restricción de formato líquido impuesta al producto a codigerir facilita enormemente la instalación necesaria, consistiendo meramente la instalación de codigestión en un silo de recepción de producto y una instalación de dosificación mediante bomba del producto en los puntos a dosificar en la instalación de digestión existente. En el caso de Sant Feliu se decidió dosificar en las tuberías de recirculación del fango de digestión, de forma que se garantiza la mezcla entre fango primario-fango biológico y producto a codigerir.

En base a las características de los productos de codigestión seleccionados, durante el año 2012 se proyectó y construyó la instalación para implementar el proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu, cuyo diagrama de proceso se muestra en la Figura 5.



3.1. CRITERIOS DE DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE ALMACENAJE Y DOSIFICACIÓN

- *Seguridad y normativa:* El punto de partida del proyecto fue la necesidad de incluir productos inflamables en el proceso de codigestión anaerobia. Las instalaciones para el almacenamiento de estos productos deben hacerse según ITC-MIE APQ1. Dada la variabilidad previsible de productos a codigir se fijó, a fin de no incurrir en costes excesivos, limitar el diseño para productos tipo B2 (punto de inflamación inferior a 38°C) ya que según la citada ITC no se requiere red contra incendios para volúmenes inferiores a 100 m³. Aun así, cabe señalar que el cumplimiento de la ITC condiciona prácticamente toda la ingeniería: tamaño de cubeto, distancias a proceso, venteos, drenajes y medidas de seguridad (duchas de emergencia, extintores, puestas a tierra, etc.). Al margen de la normativa APQ, fue necesario realizar una evaluación según la normativa ATEX (RD681/2003) de la nueva instalación e incluirla en el documento contra explosiones del que dispone la EDAR.
- *Económicos:* El objetivo de la codigestión anaerobia es obtener una producción adicional de biogás que permita incrementar la generación de energía y, en consecuencia, una reducción de los costes de explotación de la EDAR. No obstante, para alcanzar este objetivo hay que adecuar las instalaciones, de modo que la recuperación de la inversión será más rápida cuanto menores sean los costes de la nueva instalación. El diseño del tanque respondió a este principio económico.
- *Operatividad y durabilidad:* incorporando facilidades como accesos y vaciado de tanque, bomba de gran rango de caudal provista de filtro y válvula de seguridad y red de tuberías totalmente realizada en acero inoxidable.

3.2. COMPONENTES PRINCIPALES

1. Tanque de almacenamiento con capacidad útil de 80 m³, vertical sobre patas, fabricado en acero inoxidable tipo 304 L.
2. Bomba de dosificación a digestores, tipo membrana, actuada con variador de frecuencia y con un rango de caudal de hasta 900 l·h⁻¹ y 10 kg·cm⁻² de presión. La bomba instalada es apta para entornos ATEX con la siguiente clasificación de equipo EExdIIBT4.

3. Circuito de tuberías y valvulería para inoculación del producto a codigir en las líneas de aportación de fango a digestión en acero inoxidable y materiales plásticos para soportar eventuales ataques químicos y corrosión.
4. Servidor comunicado al PLC existente en digestión anaerobia y al SCADA de planta, y equipado con la plataforma para la supervisión, control avanzado, gestión y optimización del proceso de codigestión anaerobia, suministrado por la empresa SISLtech.

3.3. SISTEMA DE CONTROL AVANZADO E INTELIGENTE

Como se ha introducido en el apartado anterior, uno de los componentes de la instalación de codigestión anaerobia de lodos de la EDAR Sant Feliu de Llobregat es la plataforma informática de control que consta de tres módulos y cuyo suministro e instalación fue realizado por la empresa SISLtech.

- Módulo de adquisición y gestión de datos: Este módulo adquiere la información de alarmas, consignas y equipos, necesaria para el módulo de codigestión, filtra estos datos con el fin de detectar y eliminar ruidos y datos erróneos y finalmente gestiona la información para que esté disponible para el sistema.
- Módulo de codigestión: Este módulo integra el control avanzado que en función de la producción de biogás en tiempo real, el caudal de fango y la consigna de generación de energía eléctrica en el motogenerador, define la estrategia de dosificación del producto a codigir, con la finalidad de producir la cantidad suficiente de biogás para alcanzar el objetivo de generación de energía eléctrica.
- Módulo de ayuda a la toma de decisiones: Este módulo recoge, integra y procesa los resultados del módulo de control y/o permite la generación y envío de informes.

4. CODIGESTIÓN ANAEROBIA EN LA EDAR SANT FELIU: PUESTA EN MARCHA Y PRIMEROS RESULTADOS

Una vez finalizada la construcción y legalizadas las instalaciones (Figura 6), se inició la codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu, con una dosificación de producto escalonada y progresiva, para facilitar la adaptación de la población de microorganismos a las nuevas condiciones de proceso.



FIGURA 6. Fotografía del silo de almacenamiento de producto y del gasómetro de la EDAR Sant Feliu.

El primer producto que se utilizó fue una solución acuosa de metanol, con una DQO sin decantar de aproximadamente 700.00 mg O₂·L⁻¹. No obstante, durante esta fase de puesta en marcha de la codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu, se utilizaron dos productos, la citada solución acuosa de metanol, y una solución de aguas glicoladas con una DQO menor en el rango de 50.000 a 200.000 mg O₂·L⁻¹

Al inicio del proceso de aclimatación se observaron ya los primeros efectos del producto, tal y como se puede ver en la Figura 7, en donde la pantalla del módulo de codigestión de la plataforma del día 7 de agosto permite ver como la dosis inicial de producto (línea roja) sostiene la producción de biogás (línea rosa), aunque varíe la dosificación de fangos (línea azul) y permite que el motor de cogeneración trabaje unas 23 horas al día (línea verde).

Al finalizar el periodo de aclimatación de la población microbiana, se puso el control avanzado de la codigestión en automático. En este nuevo escenario, la dosificación de producto no es constante, sino que se adecua a las necesidades del proceso. Como se puede ver en la Figura 8, la dosis de subproducto (línea roja) varía en el tiempo, complementando la dosificación de fangos (línea azul), con el objetivo de producir suficiente biogás para mantener el nivel del gasómetro (línea rosa), permitiendo así que el motor de cogeneración trabaje a potencia nominal de 550 kW las 24 horas al día.

En la Figura 8 se puede observar la rápida respuesta del proceso de codigestión anaerobia en producción de biogás respecto a los cambios en caudal másico de producto inoculado, siendo los tiempos de respuesta de minutos. En consecuencia, se ajusta el límite máximo de seguridad de llenado del gasómetro teniendo en cuenta posibles paros imprevistos del motor con el fin de evitar la combustión innecesaria de biogás en la antorcha y el consumo innecesario del producto de codigestión en los digestores.

En esta misma Figura 8 también se puede observar la monitorización que se hace del nivel del depósito del producto (lí-

nea amarilla), y que permite hacer un seguimiento del producto disponible en silo, lo que permite planificar la logística de entrada del producto y controlar la correcta gestión de las cisternas de producto en la EDAR Sant Feliu (el pico de la línea amarilla de la Figura 8 corresponde a la entrada de la cisterna del día 17 de octubre de 2012).

La Tabla 1 recoge de forma resumida, los resultados obtenidos con la implementación del proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu. Como se puede ver la producción de biogás ha aumentado en más de un 125%, y la generación de energía en un 180%, siendo esta de 13.160 kWh·día⁻¹, casi el 100% de la energía consumida por la EDAR.

Los beneficios de la implementación del proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu, van más allá de la producción de biogás y la generación de energía, pues con este proceso la EDAR Sant Feliu ha contribuido a la disminución de gases con efecto invernadero por la energía eléctrica adicional producida a partir del biogás en un total de unas 1.667 toneladas anuales de CO₂ (Tabla 2).

5. CONCLUSIONES

La potenciación de la producción de biogás, y en consecuencia de la generación de energía, de las instalaciones de digestión anaerobia mediante la implementación de procesos de codigestión anaerobia, permiten convertir las depuradoras en instalaciones energéticamente autosuficientes, bien generando energía para autoabastecer la plena necesidad de la instalación o bien exportando la energía generada a la red, según el marco legal y económico que le sea más apropiado a cada EDAR.

Un claro ejemplo de esta alternativa de tratamiento de lodos es el presentado en este documento, pues la implementación del proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu ha permitido aumentar y sostener la producción de biogás y, en consecuencia, mantener el motor de cogeneración en su plena potencia 24 horas al día.

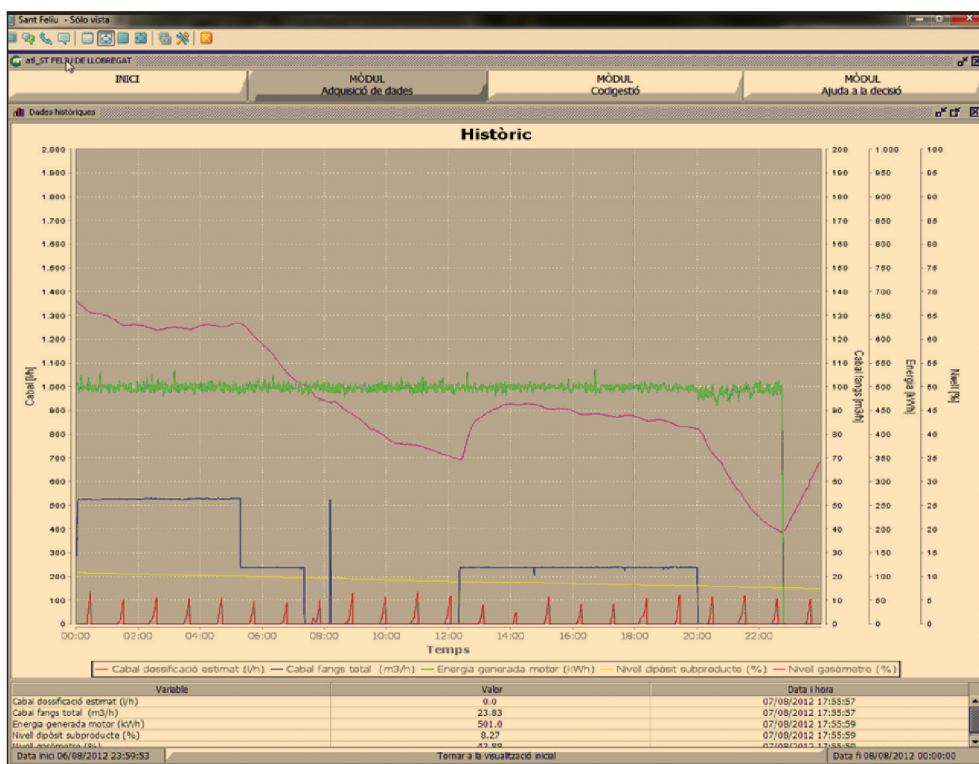


FIGURA 7. Pantalla del módulo de codigestión de la plataforma aif_SANT FELIU del 7 de agosto de 2012.



FIGURA 8. Pantalla del módulo de codigestión de la plataforma atl_SANT FELIU del 16-17 de octubre de 2012.

Caudal diseño (m3-día-1)	Proceso tratamiento lodos	Producción biogás (Nm3-día-1)	Generación energía (kWh-día-1)	Consumo energía (kWh-día-1)	Potencia motores (kW)
64.000	Digestión anaerobia	2.950	4.700	14.350	642
	Codigestión anaerobia	6.725	13.160		

TABLA 1. Resultados de producción de biogás y de generación de energía obtenidos con la implementación del proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu.

Producción adicional biogás (Nm3.año-1)	Factor de emisión	Mitigación CO2 (t-año-1)
1.377.875	56 KgCO2/GJl	1.667

TABLA 2. Resultados ahorro de emisiones de CO2 obtenidos la implementación del proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu.

La implementación del proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu se ha traducido en un ahorro en el coste energético de la EDAR de unos 90.000 €-año⁻¹, lo que representa una recuperación del coste total de la implantación de la instalación inferior a un año natural.

Además de las ventajas económicas de la implementación del proceso de codigestión anaerobia en la EDAR Sant Feliu, destaca también la reducción en emisiones de gases con efecto invernadero, gracias a la generación de una energía verde a partir del biogás producido al tratar de forma conjunta los lodos de EDAR y productos no tóxicos y fácilmente biodegradables de diversas procedencias.

6. BIBLIOGRAFÍA

Co-digestion Charge: Is waste water 's new best fried? Charlotte Morton. Waste Water International, 2012.

Biomasa: Digestores Anaerobios. IDAE . Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007.

Gestión integral e integrada del proceso de codigestión anaerobia de lodos para depuradoras bioener. A. Freixó et al., Ingeniería química n° 507, 2012.

Eficacia de la codigestión en una EDAR aplicando diferentes residuos orgánicos para aumentar la producción de biogás y energía eléctrica. Pedro Simón Andreu et al. Tecnología del agua n° 342, 2012.

Codigestion of onion juice and wastewater sludge using an anaerobic mixed biofilm reactor. Romano, R.T et al, Bioresource Technology n° 99, 2008.

Anaerobic codigestión of waste activated sludge and OFMSW: the experiences of Viareggio and Treviso plants. Bolzonella, D. et al, Water Science and Technology n° 53, 2006.

Anaerobic codigestión of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. Fernández A. et al, Biochemical Engineering Journal n° 26, 2005.