

**VII COLOQUIOS DE DIRECTORES Y
TÉCNICOS DE FÁBRICAS DE CEMENTO**

"Desarrollo, innovación y sostenibilidad:
los tres pilares de la industria cementera"

**7th COLLOQUIA OF MANAGERS AND
TECHNICIANS OF CEMENT PLANTS**

"Development, innovation and sustainability:
the three cornerstones of cement industry"

**La gestión de lodos y
el protocolo de Kyoto.
El secado térmico y
la valorización en cementera**

**Sludge management and
the Kyoto protocol.
Thermal drying and
cement industry combustion**

Iván Arauzo

Dpto. de ingeniería y proyectos
STC – Sistemas de transferencia de calor, S.A.
iarauzo@stcsa.es

Diana Permuy Vila

Rble dpto. de Medio Ambiente e I+D
STC – Sistemas de transferencia de calor, S.A.
dpermuy@stcsa.es

RESUMEN

El proceso de secado térmico de fangos se ha desarrollado enormemente en los últimos años, como una de las principales vías para la estabilización de fangos y tratamiento previo a su reciclado final. Uno de los principales limitantes de esta tecnología es su alto consumo energético. En la actualidad, los cambios climáticos y las necesidades de independencia relativa a los proveedores energéticos mediante el suministro de energías alternativas, son precursores para el desarrollo alternativo de maneras de producción energética en las industrias. En este contexto, se ha incrementado considerablemente el interés de asociación de varios sectores de la industria con el fin de mejorar su balance energético global mostrando un gran desarrollo en los últimos años.

Este artículo detalla el estudio de un caso de integración a gran escala de un secado térmico de fango dentro de una fábrica de cemento en España. Los beneficios generales incluyen, el uso del fango como combustible alternativo en el horno de la cementera sin que por ello se vea afectado la calidad del cemento, un uso final del fango asequible, energía autosuficiente, y un secado de fango libre de olores. El artículo explica estos beneficios con especial hincapié en el balance de cuota de CO₂

STC ha desarrollado un proyecto para el secado térmico de lodos utilizando gases residuales de los procesos de producción de cemento, con un sistema que genera un circuito cerrado de agua a 90/75°C, utilizando el calor residual de los gases de salida del proceso de producción de cemento.

En consecuencia, como toda la energía utilizada para el secado procede del proceso de fabricación, no es necesario el consumo de energía primaria, y esto optimiza el rendimiento del proceso industrial. El secado térmico de lodos permite una eficiencia global del proceso de producción al conseguir un mayor uso de la energía para el mismo consumo de energía primaria (lo que implica obtener cuota CO₂). Adicionalmente, la combustión de lodo seco provee de cuota CO₂ adicional.

En esta propuesta se consigue por la combinación de ambos procesos sinergias medioambientales y también financiera para ambos procesos.

ABSTRACT

Thermal sludge drying has developed greatly over the past few years, as one of the main ways of stabilising sludge and as a pre-treatment prior to final recycling. One of the main drawbacks of this technology is its high energy consumption. More over nowadays climate change and need for independence regarding energy suppliers are strong drivers for developing

alternative ways of energy production for all industries. Within this context, coupling several sectors of the industry to take advantage of the overall energy balance raises much interest and has shown much development over the past few years.

This paper details a full-scale case study of complete integration of a sludge dryer within the cement factory in Spain. The overall benefits include the use of a substitute fuel in the cement kiln while the quality of the cement is guaranteed, and a reliable end-use for the sludge, energy self-sufficient and 0-odour sludge drying. The paper explains these benefits, including a special emphasis on the CO₂ quota balance.

STC has developed a project for thermal sludge drying using residual gases from cement production processes, with a system that generates a 90/75°C closed air circuit resulting from the exhaust gas exchange in the cement production process.

Consequently, as all the energy used for the drying process comes from the cement production process, there is no need to consume primary energy, and this ultimately optimises the overall process. The sludge thermal drying process allows the overall efficiency of the production process to be improved by achieving more useful energy for the same primary energy consumption (which, moreover, implies a CO₂ quota). Moreover, the combustion of sewage sludge in the production process provides an additional CO₂ quota.

The following is a proposal for a combination of both processes that results in environmental and financial synergies

PALABRAS CLAVE

Aguas Residuales, cementera, combustibles alternativos, fangos, incineración, protocolo de Kioto

KEY WORDS

Alternative fuels, cement industry, incineration, Kyoto protocol, sludge, wastewater

INTRODUCCIÓN

La mejora de los procesos de depuración de aguas residuales y el cumplimiento de las directivas europeas relacionadas con la calidad del agua, han supuesto un aumento espectacular de las cantidades de fangos generados por los procesos de depuración, cuya gestión adecuada es uno de los handicaps más importantes en la actualidad. La competencia de este tipo de residuos con los residuos urbanos transformados en compost, así como límites legislativos más estrictos, suponen una reducción de las posibilidades de aplicación agrícola de numerosos fangos de depuradora. Todo ello, unido a los costes crecientes de puesta en vertedero, está obligando a la búsqueda de una optimización de las vías de valorización energética de los fangos de depuradora, consideradas hasta la fecha como las soluciones económicamente más desfavorables.

Los requisitos establecidos por el protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones a la atmósfera suponen un enorme reto para la industria mundial, y especialmente para las principales industrias consumidoras de combustibles fósiles entre las que se encuentra la industria cementera. En este tipo de industrias, el coste de los combustibles supera el 30% de los costes de producción, por lo que la mayoría de dichas industrias ya han realizado medidas de optimización energética de sus procesos, durante los últimos años. Por este motivo, abarcar mejoras adicionales no es factible en muchos de los casos. Hasta la fecha, las estrategias se basan en la búsqueda de combustibles alternativos, como pueden ser los fangos de depuradora, para reducir el uso de otros combustibles, que son considerados como combustibles de sustitución. Ante esta situación, la búsqueda de soluciones innovadoras, que permitan introducir nuevas líneas de actuación es uno de los principales objetivos de este tipo de industrias.

A continuación se describe una propuesta de conexión de ambos procesos, obteniendo sinergias medioambientales y también económicas para ambos procesos.

LA VALORACIÓN DE FANGOS EN LA INDUSTRIA CEMENTERA

La industria cementera de la UE produce unos 170 millones de toneladas de cemento al año, y junto con las actuaciones de mejora energética de los procesos, han abarcado en los últimos 20 años importantes inversiones para reducir la contaminación atmosférica de sus emisiones, reduciendo, por ejemplo, hasta un 90% sus emisiones de polvo. Asimismo, es una industria que se encuentra totalmente controlada a nivel reglamentario.

La utilización de combustibles de sustitución posibilita a la industria cementera una mejora de su competitividad, a la vez que permiten economizar más de 2,5 millones de toneladas de carbón al año.

La valoración de fangos de depuradora, como de otro tipo de residuos, en la industria cementera, presenta ciertas ventajas, que son muy conocidas, frente a la incineración – con o sin aprovechamiento energético-, por lo que es una de las alternativas que más se están incrementando en la actualidad. Las principales ventajas son:

- La utilización de combustibles alternativos permite la reducción de los combustibles fósiles utilizados en el proceso de fabricación del cemento, y por lo tanto su utilización se valora como una reducción de las emisiones globales.
- El horno de la cementera permite una optimización de los procesos de aprovechamiento de energía, al introducirse el residuo directamente en el clinker, sin necesidad de los procesos intermedios. Así mismo, no se producen cenizas ni otros residuos, al quedar estos productos embebidos en la propia materia del cemento.
- Las condiciones de trabajo del horno de cementera, principalmente su temperatura de trabajo, tiempo de permanencia y condiciones de oxidación, maximizan la retención de los posibles contaminantes, como pueden ser los metales pesados: todo ello sin reducir la calidad de la materia prima principal: el cemento.

REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES EN LA INDUSTRIA CEMENTERA MEDIANTE LA RECUPERACIÓN DE RESIDUOS



Figura 1: Recuperación de energía por la co-combustión en cementera

Todas estas ventajas generales se mantienen en el caso de los fangos de depuradora. Sin embargo, la mayoría de los fangos producidos tienen una cantidad residual de agua en torno al 75-80% ya que la mayoría de los procesos de depuración terminan su línea de fangos con un proceso de secado mecánico, que no suele conseguir superar el 30% de contenido de materia seca en los mismos. Este contenido de agua y su combustión, anula las capacidades caloríficas de la materia seca del fango, por lo que una etapa previa de secado se considera imprescindible para la operatividad y viabilidad del proceso.

EL SECADO TÉRMICO DE FANGOS

Este proceso se basa en la aplicación de energía térmica para la evaporación de la cantidad de agua que no es separable de la materia seca por medios mecánicos. Considerando que el coste de la energía térmica tiene un valor mucho más elevado que la energía mecánica utilizada para la separación del agua, es muy importante la optimización del proceso de secado mecánico previamente al térmico.

El objetivo principal de los procesos de secado térmico es la reducción del contenido en agua de los fangos, intentando reducir en la medida de lo posible, y a poder ser in-situ, la cantidad de los fangos generados en las depuradoras, con el fin de facilitar su posterior gestión. Esta reducción no es un destino final de los fangos, sino que debe concebirse como una etapa adicional a la línea de fangos, con el fin de mejorar sus posibilidades de reutilización, reciclaje o valoración.

El secado térmico de fangos hace posible la óptima gestión de este tipo de residuos gracias a la reducción del peso, la mejora de la estabilización así como sus posibilidades de almacenamiento y manipulación y aumento de su poder calorífico. El fango tras secado térmico dispone de un poder calorífico inferior (PCI) entre 2.000 y 4.500 kcal/lkg.

Como puede apreciarse en la Figura 2, el coste energético constituye cerca de un 75% del coste económico de un proceso de secado térmico. Por ello, los procesos de mayor eficiencia térmica para el secado térmico serán los únicos que permitan una optimización de los costes de tratamiento global.

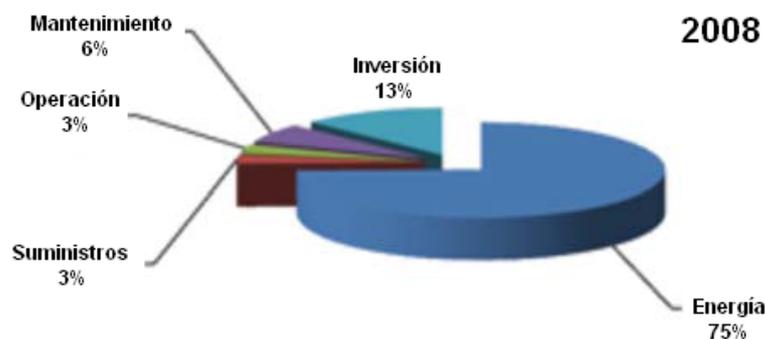


Figura 2: Distribución de los costes del secado térmico

EL SISTEMA STC DE SECADO TÉRMICO DE FANGOS

El sistema STC de secado térmico de lodos está basado en un proceso de convección de aire caliente a baja temperatura (65-80°C) en un túnel continuo y cerrado. Este sistema, consigue eliminar el agua contenida en los fangos hasta alcanzar sequedades del 80-90% con una deshidratación mecánica previa.

El fango, procedente de la fosa de recogida o silo de fangos, debe ser conducido a la cabecera del túnel de secado. El fango se deposita en el sistema de conformado, cuyo fin es el de granular el fango y distribuirlo uniformemente en todo el ancho de la cinta de secado, facilitando el paso del aire a través del mismo. Una vez se deposita el fango sobre las cintas, éstas avanzan por los módulos de secado, no volviéndose a manipular o mover el fango hasta la operación de descarga. La falta de movimiento y rozamientos en el proceso, permite que no se generen polvos durante la etapa de secado.

El sistema se basa en dos cintas de secado que recorren el túnel longitudinalmente. Durante su recorrido, se hace circular aire caliente y seco a una temperatura entre 65-80°C perpendicularmente a las cintas de transporte, las cuales van cargadas de producto. Ese aire, que es impulsado por el sistema de ventilación, atraviesa el producto extrayendo el agua por equilibrio higroscópico. El aire caliente y húmedo, que ha pasado a través de la masa de fango, es condensado en los intercambiadores situados en el interior del túnel, separando el agua que se ha extraído del fango, a la vez que se le aporta nueva energía calorífica, lo que permite la recirculación del aire y mantener el proceso en circuito cerrado de aire.

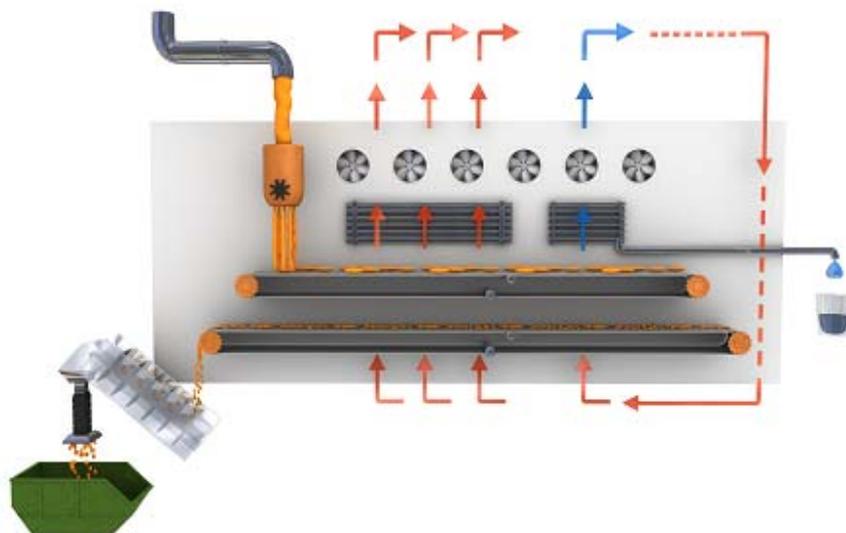


Figura 3: Diagrama de flujo del sistema STC

La baja temperatura del proceso nos permite evitar la destilación de otros productos contaminantes retenidos en el fango, de manera que no vuelva a trasladarse la contaminación al agua. Al trabajar en circuito cerrado de aire, no se producen emisiones gaseosas ni olores a la atmósfera, por lo que no es necesario el tratamiento o filtrado del aire de secado. El único residuo del proceso es agua de alta calidad, con mínimos arrastres que dependen de la naturaleza del producto a tratar.

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA STC

El sistema de circuito cerrado permite el control total sobre la temperatura y humedad del aire de secado, de manera que en cada etapa de avance del túnel se pueden establecer unas condiciones de estado higrométrico del aire, lo que permite una optimización de la curva de secado del producto y que éste seque uniformemente.

Esta temperatura de trabajo, junto con el circuito cerrado de aire, es una de las principales ventajas del sistema, ya que añade la posibilidad de aprovechamiento de múltiples fuentes de energía calorífica residual, que no son útiles en otro tipo de procesos. Este factor es muy importante, dada la importancia del coste de la energía calorífica en el proceso global de secado. De esta manera, deben de considerarse todas las alternativas que permitan aprovechar calores residuales para los procesos de secado de biosólidos. Entre las alternativas más interesantes se encuentran:

- aprovechamiento máximo de los calores generados en los sistemas de cogeneración: no sólo se utilizan los gases de escape sino también el calor de bloque del motor (50% del calor producido por un motor de cogeneración), hasta llegar a los Rees máximos permitidos por los motores
- aprovechamiento de calores procedentes de otros procesos térmicos: escapes de chimeneas tipo incineradores, calores de condensación de turbinas gases de procesos de gasificación o similares.
- Posibilidad de empleo de tecnologías de bomba de calor o similares
- Posibilidad de aprovechamiento de calor procedente de fuentes de energía renovables: energía solar térmica (agua caliente 80°C), geotérmica, etc.
- Posibilidad de integración de otros procesos que generen calor residual como la fabricación de cemento.

STC ha desarrollado un proyecto de aprovechamiento de gases residuales de los procesos de fabricación de cemento como una de sus alternativas más novedosas/sostenibles. Gracias a la generación de un circuito cerrado de agua 90/75°C, procedente del intercambio con los gases de escape del proceso de fabricación del cemento. De este modo la energía utilizada para el proceso de secado puede proceder totalmente del proceso de fabricación del cemento, sin requerir el consumo de energía primario, optimizando el proceso global.

LA INTEGRACIÓN DEL SISTEMA STC DE SECADO TÉRMICO DE FANGOS EN UNA CEMENTERA

Una de las principales fuentes de energía disponibles en las cementeras son los gases de escape del horno y/o gases de enfriamiento del klinker, cuya cantidad y temperatura varían según los diferentes procesos. Este tipo de gases suelen considerarse gases "sucios", al llevar incorporadas gran cantidad de partículas sólidas, por lo incorporan filtros de alta eficiencia, previos a su emisión a la atmósfera. La mayoría de los procesos de filtrado habituales exigen, para obtener una adecuada eficiencia, el enfriamiento de dichos gases previamente al paso a través del sistema de filtrado, por lo cual solo es posible el aprovechamiento del calor residual en una etapa que se encuentre entre su salida del horno y el paso por el sistema de filtrado.

Así pues, el esquema de aprovechamiento consiste en la instalación de un intercambiador gases-agua de forma paralela al enfriador de gases, con sistema de regulación de caudales, de manera que en caso de no funcionamiento o funcionamiento parcial del sistema de aprovechamiento para el proceso de secado, entre en operación el enfriador habitual del proceso, asegurando en todo momento una correcta temperatura de gases previa a su paso por el sistema de filtrado, y sin afectar al proceso de fabricación del cemento. Es decir, se cumplen los dos requisitos básicos: que se instale como un proceso paralelo y no interferente con el proceso productivo y que no implique una modificación de los parámetros medioambientales de la instalación.

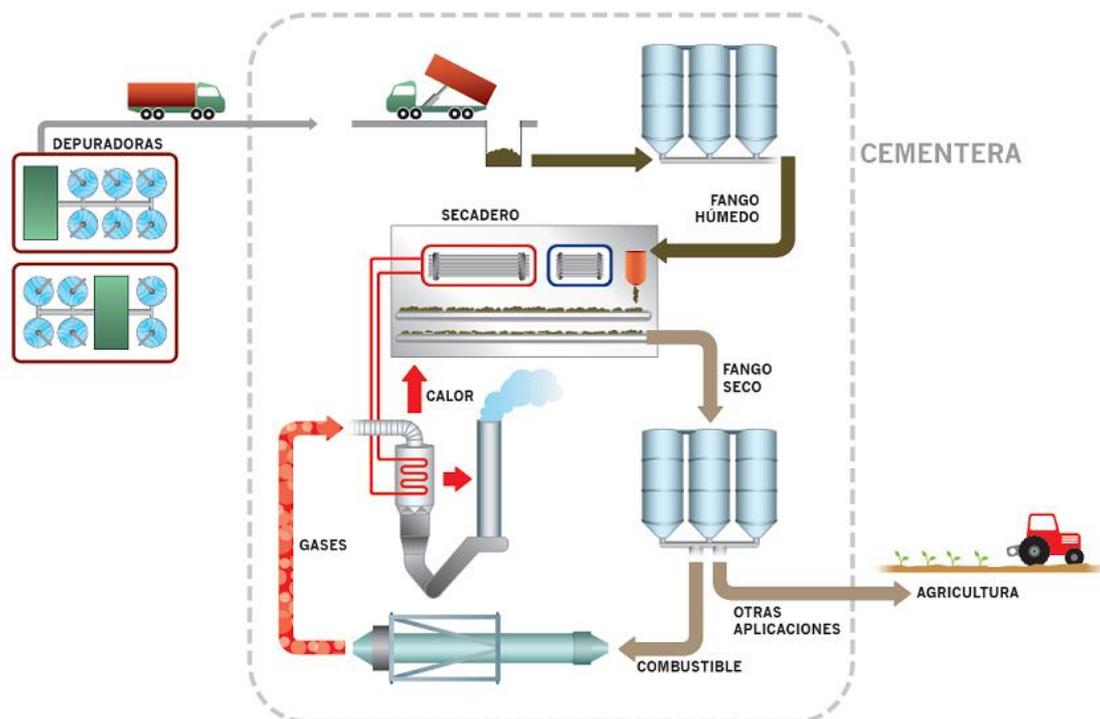


Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de integración del secado térmico de fangos STC-Cementera

VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES Y ECONÓMICAS DEL PROCESO

Un proceso de estas características supone ventajas medioambientales para todos los participantes del proyecto: los productores o gestores del agua, las empresas que gestionan la instalación de tratamiento de fangos y la industria cementera.

A nivel de:

- Los productores o gestores del agua: se consigue la mejora del proceso de gestión tanto a nivel medioambiental, sin necesidad de buscar un nuevo emplazamiento, como a nivel económico, obteniendo unos buenos costes de gestión global del proceso, al haberse asegurado un destino final del fango y una reducción de los costes de tratamiento térmico, al no requerirse el consumo de energía primaria para la realización del proceso.
- Las empresas que gestionan la instalación de tratamiento de fangos: disponen de una instalación con un impacto ambiental compatible con la fabricación del cemento, una reducción de los costes energéticos, al no requerirse el consumo de energía térmica primaria y unos costes eléctricos preferenciales, a la vez que un destino final asegurado. Además este tipo de procesos no es exclusivo de otras soluciones finales, como pueden ser la valorización agrícola o la puesta en vertedero, ya que en todos los casos la reducción de la cantidad de producto a gestionar y su contenido en agua es beneficioso para la gestión final. A nivel de impacto ambiental, la cementera permite que todos los equipos del centro de tratamiento de fangos estén conectados a una red general de desodorización, cuya combustión en el propio horno asegura la no emisión de olores del centro de tratamiento, siendo uno de los procesos de tratamiento de olores más efectivos de los que se dispone.
- Las cementeras: el proceso de secado térmico de fangos les permite mejorar la eficiencia global de su proceso, al obtener mayor energía útil para el mismo consumo de energía primaria, lo que implica cuota de CO₂. Por otro lado, la combustión de los fangos de depuradora en el proceso de fabricación aporta cuota CO₂ adicional. Así mismo, no debe de despreciarse los ingresos adicionales que suponen los costes de gestión de fangos.

EJEMPLO DE APLICACIÓN EN LA CEMENTERA DE ALICANTE

Este tipo de disposición va a ser realizado en una instalación cementera en las cercanías de la ciudad de Alicante (España), mediante inversión de la empresa Emarasa. De esta manera, se realizará la instalación de un centro de tratamiento de fangos de depuradora en las cercanías de la cementera,

utilizando los principales servicios ya instalados en la misma: zona de accesos de camiones, sistemas de pesada de camiones, sistema de medición de emisiones gaseosas, etc.

En este proyecto se prevé el tratamiento de 60.000 t/año de fangos de depuradora procedente de varios orígenes, para lo cual toda la energía procederá de energía residual del proceso de fabricación del cemento. En este caso se prevén dos vías de tratamiento del fango seco: valorización agrícola y valorización energética, según los orígenes de los diferentes fangos y periodo anual.

En este caso, se pueden obtener los siguientes indicadores medioambientales, considerando un poder calorífico del carbón sustituido de 26 GJ/t y un ratio de 93 kg CO₂ por GJ:

- Energía residual de la cementera utilizada para el secado térmico de fangos: supone un aprovechamiento anual de 46 millones de termias, equivalentes a unas 18.000 t de CO₂.
- Energía aportada por los fangos secos combustionados en el horno, considerando un poder calorífico medio de 3.000 kcal/kg de fango seco, suponen 53 millones de termias anuales, equivalentes a 20.500 t de CO₂.

En cuanto a la eficiencia económica, estas cifras energéticas se pueden valorar, de forma conservadora en 0,01€/termia de energía sustituida y un valor estimado en el mercado de 20 €/ t de CO₂ que nos permite obtener una valoración económica de estas mejoras ambientales a nivel de la cementera en torno a 1.300.000 €. A esta cantidad se pueden incorporar los ingresos por el canon de gestión de los lodos. Así mismo, el proceso de secado térmico sin consumo de energía primaria permite el ahorro de los 46 millones de termias, que suponen aproximadamente un ahorro de 1.000.000€ adicionales.

CONCLUSIONES

1. La incorporación de procesos de tratamiento de residuos en zonas de aprovechamiento de energía residual es una de las mejores alternativas de gestión, ya que el coste de la energía suele ser el factor económico determinante para la realización o viabilidad de un proyecto de valorización de residuos.
2. Este tipo de proceso supone para las cementeras un proceso de mejora ambiental importante, ya que se mejora su rendimiento energético: mayor energía útil en relación con el combustible primario utilizado; dicha reducción de CO₂ primario supone una compra efectiva de cuota de CO₂.

3. La disponibilidad de un lodo con un contenido de humedad inferior al 20%, sin necesidad de consumir energía primaria, aumenta sus posibilidades de valorización energética, presentando un PCI entre 2.000 y 4.500 kcal/kg, que puede ser aprovechado de forma fácil como combustible habitual, con la consiguiente reducción de energía primaria del proceso y cuota de CO₂ asociada a los combustibles de sustitución. La valoración energética de los fangos en cementeras es el único proceso que no genera un residuo final (cenizas) que deba ser gestionado, ya que pasas a incorporarse al cemento.
4. Así pues, este tipo de proyectos consigue una gestión integral, que permitirá que el proyecto sea viable: implantación en un centro con calor disponible, con posibilidad de valorización energética del fango seco en el mismo emplazamiento.
5. El sistema STC permite respetar la normativa legal vigente de la UE gracias a la valoración óptima de los lodos de depuradora, evitando posibles sanciones económicas

REFERENCIAS

Cembureau. Environmental Benefits of Using Alternative Fuels in Cement production, 1999.
Cembureau. Alternative Fuels in Cement Manufacture, 1997.