



La incineración de lodos: una solución viable, segura y con futuro

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Rostov on Don (Rusia) ha confiado recientemente el tratamiento final de sus lodos de depuración al grupo Degrémont, que realizará el diseño y construcción de una instalación de incineración de lodos con capacidad para 84 toneladas de materia seca/día. Con este pedido, el grupo Degrémont que cuenta ya con unas amplias referencias, totalizará 44 hornos instalados en todo el mundo desde 1985, de los que 15 se encuentran en la actualidad en fase de construcción y montaje

Los lodos producidos en el sistema de depuración de la ciudad de Rostov on Don son en

Jaume Relea
Responsable de Desarrollo del Área de tratamiento y Valorización de Lodos.

DEGRÉMONT, S.A.

gran parte urbanos, y una parte también industrial, que los hace inapropiados para su utilización agrícola al contener metales pesados y contaminantes.

La incineración de lodos representa, hoy en día, una alternativa cada vez más seguida por las grandes urbes que deben enfrentarse a cómo tratar los lodos generados en sus estaciones de depuración.

2. LA INCINERACIÓN DE LOS LODOS EN HORNO DE LECHO FLUIDIFICADO

Los lodos provenientes del proceso de deshidratación se componen de una parte, denominada materia seca (MS) (20-40%) y el resto de agua. De la materia seca se puede aprovechar una fracción de la misma, la materia orgánica o volátil (MV) que tiene un poder calorífico útil (PCI). El resto de la materia seca no orgánica, es materia mineral que se ha de considerar inerte a efectos térmicos.

Con la combustión de estos lodos en un horno de lecho fluido a 850°C, se transforma y se reduce el lodo obteniéndose un caudal de gases y cenizas a alta temperatura, que permite además su valorización energética con la generación adicional de calor útil.

2.1. REQUERIMIENTOS DE CALOR EN EL HORNO

Para dimensionar el sistema de incineración de lodos es necesario conocer de los lodos:

- Caudal de lodo deshidratado en kg/h de MS
- Sequedad del lodo en % (el contenido de agua tiene mucha influencia en el proceso)
- Contenido en materia volátil de la parte seca : % MV/MS

También es necesario (aunque raramente está disponible)

- Composición elemental del



Figura 1. Maqueta instalación de Rostov



Figura 2. Balance de calor

lodo (C,H,O,N, S, Cl)

- Poder calorífico inferior (PCI) del lodo

Estos valores de diseño, conjuntamente con el tiempo de residencia, la cantidad de oxígeno y las superficies de contacto configuran el diseño preliminar del horno.

2.2. BALANCE DE CALOR

La normativa europea y española vigente de incineración de residuos establece una temperatura mínima en el horno de 850°C y un tiempo de permanencia mínimo de 2 segundos. Por lo tanto, las entradas de materias en el horno – a nivel calorífico – han de ser capaces de mantener como mínimo esta temperatura de combustión.

Como el combustible entrante al horno – lodos deshidratados – contiene mucha agua, y su PCI es muy bajo, normalmente necesitará una aportación de calor adicional para mantener las condiciones de combustión

exigidas. (Figura 2)

Esta aportación adicional de calor puede realizarse mediante combustible auxiliar (fuelóleo, gas natural,...) o bien precalentando el propio aire de fluidificación del horno que al mismo tiempo aportará el oxígeno necesario para la combustión completa del lodo.

Sin la utilización de combusti-

ble fósil de apoyo se puede conseguir la denominada autotermicidad de los lodos, aprovechando el propio calor de los gases de salida del horno para precalentar el aire de fluidificación y aportar de esta forma el calor extra preciso para mantener las condiciones de combustión requeridas.

A mayor temperatura del aire de fluidificación, más calor entrará en el horno, y se podrán incinerar lodos con menor sequedad (con mayor contenido de agua).

La autotermicidad dependerá de:

- Temperatura de aire de fluidificación – combustión de entrada al horno
- La sequedad del lodo entrante
- El porcentaje de la MV respecto a la MS
- El PCI de la MV

3. EL HORNO THERMYLIS DE DEGRÉMONT

El horno Degrémont, denominado Thermylis, (Figuras 3a y



Figura 3a. Instalación de incineración de lodos en Puerto Rico – 1 x 2415 kg MS/h



3b) es un reactor de lecho fluidificado, con un diseño en forma de lágrima invertida, que incluye una cámara de aire caliente, la zona del lecho fluido y la zona de postcombustión o “freeboard”. Los lodos deshidratados son inyectados e incinerados en el interior de la masa de arena en fluidificación, que previamente ha sido calentada durante el arranque. El lecho de arena se mantiene en suspensión gracias al aire de fluidificación proporcionado por un ventilador de alta presión. Este mismo aire de fluidificación proporciona el oxígeno necesario para la combustión del lodo.

Los productos de la combustión son evacuados por la parte superior del horno, que se mantiene en ligera depresión.

La experiencia acumulada en hornos en operación durante los últimos 25 años, permite a Degremont proponer un horno que dispone de un conjunto de detalles y características en diseño y construcción que lo hacen único y lo diferencian del resto del mercado.

3.1. CÁMARA DE AIRE REFRACTARIA DE ALTA TEMPERATURA

La cámara de aire recibe el aire a alta temperatura (650-700°C) de un intercambiador de calor tubular aire/gases exterior instalado al lado del horno que utiliza el calor de los gases de salida del propio horno para precalentar el aire de fluidificación. En dicha cámara se encuentra un quemador de arranque que proporciona la energía necesaria para el arranque en frío. Las paredes de la cámara de aire están construidas en ladrillo refractario con aislamiento exterior. El suelo de la cámara también está aislado con refractario especial.

El uso de la tecnología de cámara de aire caliente es una de las principales ventajas de la solución Degremont:

- Permite precalentar el aire de fluidificación hasta 650-700 °C. Los procesos de arranque son más rápidos y consumen menos combustible debido a la mayor rapidez en calentarse el horno.
- La tecnología de cámara ca-

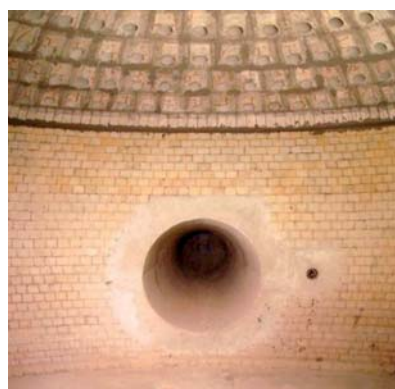
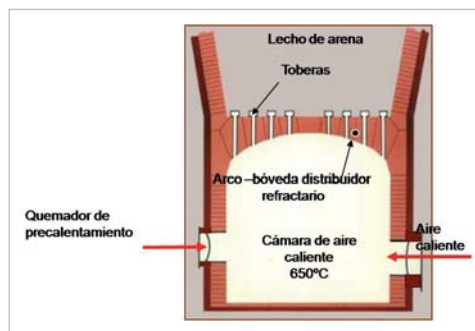


Figura 4. Cámara de aire caliente

liente y arco-bóveda refractaria es un diseño largamente probado actualmente en operación en todos los hornos Degremont

- El arco-bóveda en refractario ofrece el mejor diseño para resistir las solicitaciones y cargas térmicas.

- La alta temperatura del aire precalentado permite tratar lodos con alta humedad sin necesidad de combustible de apoyo (auto-termicidad)

3.2. AIRE DE FLUIDIFICACIÓN

Para proporcionar el aire para la combustión de los lodos, y al mismo tiempo producir la fluidificación del lecho de arena se instala un ventilador de alta presión (Figura 5). El aire de fluidificación circulará a través de un precalentador para aumentar su temperatura hasta las condiciones requeridas para la auto combustión del



Figura nº 3b. Esquema del horno Thermylis



Figura 5. Ventiladores de aire de fluidificación

lodo. Este ventilador también suministra el aire para el quemador de precalentamiento durante la puesta en marcha, y para otros servicios secundarios del horno.

Las necesidades de aire estequiométricas para la combustión, incrementadas en un porcentaje de exceso de aire, proporcionan el oxígeno suficiente para una combustión completa de toda la materia volátil del lodo, con un



Figura 6. Pre montaje del arco-bóveda que contiene las toberas

contenido del 6% de oxígeno en los gases y garantizan el caudal de aire necesario para la fluidificación del lecho.

3.3. ARCO-BÓVEDA REFRACTARIO AUTO PORTANTE

El arco-bóveda del horno Thermylis está realizado en bloques material refractario y es auto-portante

La unión entre los bloques que conforman el arco-bóveda se realiza sin huecos entre anillos y bloques, y sin arena en los huecos. No hay bloques sueltos. El diseño con moldes especiales permite tolerancias más ajustadas eliminando la posibilidad de roturas.

El arco-bóveda en refractario, comparado con los diseños en metal, proporciona una mayor resistencia a los esfuerzos térmicos y un mejor aislamiento térmico

3.4. PARRILLA DE FLUIDIFICACIÓN

La parrilla con los elementos de fluidificación se encuentra montada sobre el arco-bóveda de refractario, y distribuye el aire de fluidificación de forma equilibrada y uniforme en toda la sección del reactor. Es un elemento esencial del horno. La fila más exterior de refractario va anclada con el refractario del propio horno. Sobre cada pieza de refractario del arco-bóveda hay un orificio en donde se monta una tobera que suministrará aire desde la cámara de aire caliente inferior al lecho de arena.

La sección total de las toberas determina la sección libre de paso de aire, y la pérdida de carga



Figura 7. Detalle de la distribución de las toberas

a través de la parrilla. El valor de pérdida de carga es lo que determina la calidad de la fluidificación y por lo tanto el rendimiento de la combustión durante el proceso de incineración. Las toberas son de acero resistente a altas temperaturas. Van inmersas en los bloques refractarios formando una especie de "setas" con orificios laterales. Cuando el lecho fluidificado se detiene, el especial diseño de las toberas evita que la arena escape hacia la cámara de aire inferior.

3.5. QUEMADOR DE PRECALENTAMIENTO

La cámara de aire caliente del horno Thermylis va equipada con un quemador denominado de precalentamiento o de arranque que proporciona el calor necesario para un arranque en frío. El diseño de la cámara con ladrillo refractario permite un arranque más rápido reduciendo el tiempo de puesta en régimen.

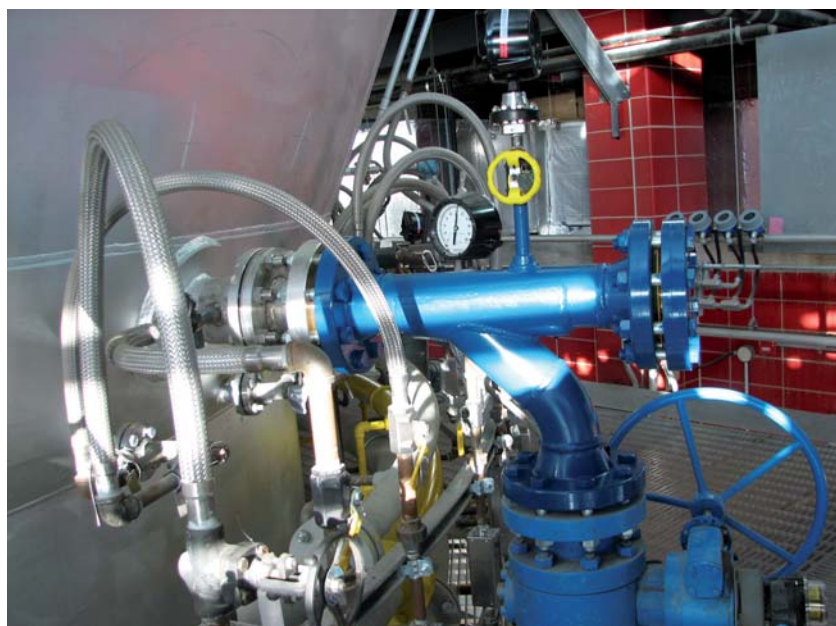
Una vez que el lecho de arena alcanza la temperatura requerida



para la combustión, y el precalentador de aire ya recupera el calor necesario para satisfacer la condición de combustión auto térmica sin combustible de apoyo, el quemador se detiene.

3.6. INYECCIÓN DE LODOS

El punto de inyección del lodo deshidratado al horno Thermylis está localizado al nivel del lecho de arena, y no por encima del mismo (Figura 9). Esta disposición permite el contacto inmediato de la arena caliente y fluidificada con el lodo entrante y crea una combustión de alto rendimiento, produciendo gases sin inquemados. El lodo es inyectado, a través de una tubería circular que recorre todo el perí-



metro del horno, por varios puntos, dispuestos de forma simétrica y mediante toberas a través de las paredes del horno con aislamiento refractario. Cada punto de inyección dispone de una válvula automática de aislamiento.

Este sistema de inyección presenta respecto a otros sistemas de proyección del lodo sobre el lecho las ventajas siguientes:

- Contacto inmediato del lodo con la arena caliente fluidificada del lecho
- Se evita el "by-pass" de los lodos hacia la salida del horno (inquemados en los gases), las emisiones elevadas en CO e hidrocarburos y el riesgo de explosión en el sistema de depuración de gases.
- Se evitan temperaturas bajas del lecho, con la consiguiente inyección inútil de combustible para mantener su temperatura de combustión. En el horno Thermylis el lecho actúa como zona de combustión principal. La misión del "freeboard" es solamente para « pulir » los inquemados.



Figura 9: Inyección de lodos en el horno

- Disminución de los óxidos de nitrógeno (NOx). La combustión en dos fases (lecho y freeboard) favorece bajas emisiones de NOx
- Un aumento del tiempo total de permanencia (7 segundos) de los gases en el horno.

3.7. LECHO DE ARENA

El lecho está formado por arena especial. El lecho se expande con el aire de fluidificación. La velocidad del aire se controla para mantener el estado de fluidificación adecuado, y evitar arrastres de partículas y optimizar el balance energético. El lecho expandido alcanza 1,5 metros de altura. La arena caliente



Figura 8. Quemador de precalentamiento



y el aire de combustión incineran el lodo produciendo unas cenizas inertes que son arrastradas por los gases hacia el sistema de recuperación de calor y los equipos de depuración de gases.

El lecho de arena está soportado por el arco-bóveda refractario auto portante que contiene las toberas de fluidificación. El diseño expandido del horno en la zona del lecho permite la correcta evaporación del agua que contienen los lodos entrantes.

El propio proceso de fluidificación comporta una abrasión sobre la arena resultando una reducción de su tamaño, y una fracción muy pequeña se escapa con los gases. La arena perdida en forma de finos se reemplaza mediante un sistema de alimentación desde un silo de almacenamiento a la tobera de alimentación en el horno. Como seguridad por exceso de nivel del lecho se instala una tobera de rebose o descarga.

3.8. QUEMADOR DE SEGURIDAD

Por encima del lecho de arena, en la zona de postcombustión se dispone de un quemador de seguridad. La misión de este quemador es la de mantener la temperatura de combustión igual o superior a 850°C, según fija la normativa vigente en los casos en que se produzca una disminución de la temperatura debido a pequeñas variaciones de la calidad del lodo entrante.

3.9. ZONA DE POSTCOMBUSTIÓN

La zona de postcombustión, también denominada “freeboard” es una sección de gran vo-



Figura 10. Quemador de seguridad

lumen en la que se finalizan las reacciones de la combustión y en donde el calor de la combustión es liberado de forma que la temperatura de proceso permanece dentro de un rango aceptable para el recubrimiento refractario del horno. La sección del horno es siempre mayor en la parte superior con el fin de vehicular de manera correcta el volumen aumentado de los gases que se producen. Esta sección mayor permite que la velocidad

de los gases disminuya de forma gradual con el fin de evitar arrastres de las partículas más pequeñas de arena. El “freeboard” proporciona un tiempo de residencia alto de los gases dentro del horno, y completa la combustión de cualquier materia volátil que escape del lecho de arena. El “freeboard” actúa pues, como una zona de postcombustión operando a una temperatura algo más alta que el lecho, debido a que en esta zona se completa la combustión de los volátiles.

3.10. RECUBRIMIENTO REFRACTARIO

Tanto la sección del lecho, como el freeboard del horno en su lado interno – lado caliente, van equipados con una protección de ladrillo refractario, (no hormigón) resultando una mayor durabilidad. El cemento refractario se utiliza solamente en los cerramientos alrededor de las boquillas.



Figura 11. Cúpula refractaria auto portante del horno



En la parte interior se dispone de una segunda capa de refractario aislante.

3.11. CÚPULA REFRACTARIA AUTO PORTANTE

El techo del horno está formado por una bóveda o domo auto-portante con una salida circular central a través de la cual los gases son evacuados del horno. El techo está realizado y

protegido por material refractario en forma de ladrillos (no cemento) y bloques aislantes dispuestos en dos capas.

3.12. PULVERIZACIÓN DE AGUA E INYECCIÓN DE AGUA AMONICAL

El horno dispone de un sistema de aspersión de agua a través de un grupo de boquillas situadas en su techo como



Figura 12. Parte superior de dos hornos con su conducto de salida de gases y sistema de pulverización de agua.



Figura 13. Precaentador de aire

seguridad última en el caso de que la temperatura en el “free-board” superara el valor máximo de diseño. El sistema de control de la temperatura del lecho se diseña para cubrir la variabilidad del lodo.

Para el control de las emisiones de NOx, el horno Thermylis dispone de un conjunto de toberas situadas a la altura del “freeboard” a través de las cuales se inyecta en pulverización a intervalos preestablecidos y a presión, agua amoniacal (NH4OH) que reacciona con los óxidos de nitrógeno, neutralizándolos.

4. RECUPERACIÓN DE ENERGIA

4.1. EL PRECALENTAMIENTO DEL AIRE DE FLUIDIFICACIÓN

La alta temperatura del aire que se precisa para conseguir la autotermicidad del lodo se obtiene mediante la instalación de un precalentador de aire que aprovecha el calor de los gases de combustión a la salida del



horno cediendo su energía al aire de fluidificación que entra en el horno.

El precalentador de ubicación vertical y auto portante es un intercambiador de calor tubular. Los gases de combustión circulan por el interior de los tubos, en sentido descendente, mientras que el aire de fluidificación circula por el exterior de los tubos efectuando varios pasos con la ayuda de baffles interiores. El sentido del aire es de abajo hacia arriba del cuerpo vertical del precalentador.

El caudal de los gases con polvo dentro de los tubos es paralelo a la propia superficie de intercambio. Este diseño elimina las erosiones sobre las

superficies de intercambio que limitarían la vida útil del equipo. Adicionalmente, la combinación del sentido vertical de los tubos con la alta velocidad de diseño del gas en el interior de los tubos resulta un diseño auto-limpiante.

4.2. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO POSTERIOR

En contra de la idea extendida de que la incineración de los lodos deshidratados consume mucho combustible fósil, la incineración de los mismos, si está bien diseñada, no solo puede realizarse sin la aportación de combustible auxiliar, sino que los gases, después de ceder

parte de su calor al precalentador que calentará el propio aire de fluidificación entrante al horno, todavía dispondrán de temperatura suficiente para su aprovechamiento energético posterior.

La recuperación de este calor puede realizarse de diversas formas utilizando recuperadores de fluido térmico, calderas de vapor,..... La energía recuperada puede utilizarse para:

- Alimentar térmicamente a un secador térmico que pre-secará los lodos deshidratados, incrementando su sequedad antes de su inyección en el horno.

- Producir agua caliente o vapor de baja presión para alimentar un "district heating",

REUTILIZACIÓN:

La tecnología de filtración con membranas de Degrémont se adapta a la totalidad de los usos de las aguas residuales tratadas, desde la agricultura y jardinería a la industria y muchos más usos. El agua de calidad producida por estos procesos, ya bien apreciados por la industria y la agricultura, está contribuyendo de forma muy importante a la conservación del agua y a la protección del medio ambiente.

DESALACIÓN:

La experiencia de Degrémont en Desalación viene de más de sus 250 plantas de ósmosis a lo largo del mundo. El proceso elimina sales minerales al hacer pasar el agua a través de una membrana semipermeable. Con el crecimiento de la demanda mundial de agua - y con el 40% de la población mundial viviendo a menos de 100 km del mar - esta tecnología ofrece una solución sostenible para el suministro de agua potable.

LOS ESPECIALISTAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA



www.degremon.com

AGUA DE MAR: FUENTE DE VIDA.

© Les Editions Stratégiques

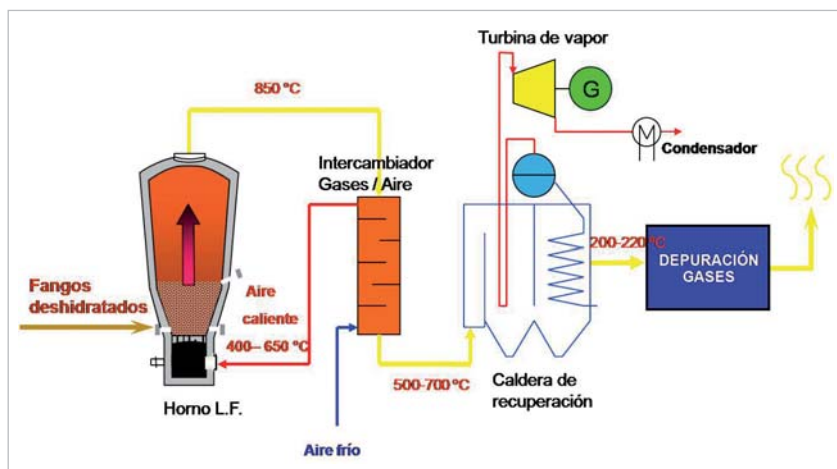


Figura 14. Incineración de lodos con recuperación de energía – caldera y turbina de vapor

proporcionando calefacción / frío a una red urbana.

- Producir energía eléctrica mediante la utilización de una caldera de recuperación de alta presión asociada con una turbina de vapor. (figura 14)

Las calderas de recuperación de lodos presentan un diseño específico debido a las propias características de los gases procedentes de horno de lodos. A tener en cuenta:

- Contenido de polvo (arrastre en los gases de la materia mineral del lodo)
- Contenido en contaminantes (principalmente SO₂ y HCl)

El estado actual de la tecnología ha desarrollado calderas especiales para la recuperación de esta energía disponible en los gases, consiguiendo una alta disponibilidad, fiabilidad y seguridad en las instalaciones.

5. REFERENCIAS EN EL MUNDO

A continuación se muestran las referencias del horno Thermylis en los últimos 15 años (ver tabla).

6. CONCLUSIONES

La incineración de lodos con horno de lecho fluido Thermylis es la forma más eficiente de tratamiento térmico de éstos. Esta tecnología de tratamiento presenta las ventajas siguientes:

- No precisa combustible fósil de apoyo. Por encima del 27-28% de sequedad en el lodo no se requiere la utilización de combustible fósil de apoyo. No se generan emisiones de CO₂ de origen fósil.

- Flexibilidad. Permite variaciones en la calidad de los lodos durante corto periodos de tiempo debido a la gran cantidad de calor almacenado en el lecho de arena. De hecho la alimentación del lodo representa aproximadamente solo un 1% del total del material del lecho.

- Facilidad de control y automatismo. El mezclado rápido de los lodos debido a la turbulencia en el lecho fluido proporcio-

Planta	Capacidad	Año puesta en marcha
Rostov on Don (Rusia)	1 x 4088 kg MS/h	2012
GHJA, Hazleton, PA (USA)	1 x 580 kg MS/h	2012
TZ Osborne (USA)	1 x 2450 kg MS/h	2012
Southerly-Cleveland-Ohio (USA)	3 x 3750 kg MS/h	2011
Duffin Creek - Ontario (Canadá)	2 x 4370 kg MS/h	2010
Mill Creek-Ohio (USA)	3 x 3600 kg MS/h	2010
Gdansk (Polonia)	1 x 2032 kg MS/h	2010
Kielce (Polonia)	1 x 800 kg MS/h	2010
Le Havre (Francia)	1 x 1125 kg MS/h	2010
Ampliación Valenton (Francia)	1 x 3000 kg MS/h	2010
Trípoli (Líbano)	2 x 1160 kg MS/h	2008
Lakeview-Ontario (Canadá)	3 x 4170 kg MS/h	2009
Sutton Cobb Country - GA - (USA)	2 x 1990 kg MS/h	2007
Lakeview Ontario (Canadá)	1 x 4170 kg MS/h	2006
Ypsilanti-Mississippi (USA)	1 x 2850 kg MS/h	2005
Puerto Nuevo (Puerto Rico)	1 x 2415 kg MS/h	2004
Valence (Francia)	1 x 520 kg MS/h	2003
Distrito d' Elbeuf (Francia)	1 x 440 kg MS/h	2003
Little Miami - Ohio (USA)	1 x 2700 kg MS/h	2000
North Bergen - New Jersey (USA)	1 x 1012 kg MS/h	1999
Camden Country - New Jersey (USA)	1 x 375 kg MS/h	1996
Greensboro - North Carolina (USA)	1 x 2250 kg MS/h	1996



Figura 15. Uno de los cuatro hornos Thermylis de capacidad unitaria 4170 kg MS/h en Lakeview – Ontario (Canadá)

na una temperatura uniforme del lecho, con lo que el sistema de control de temperatura se estabiliza.

- Costes de mantenimiento reducidos. No existen partes móviles en la zona de combustión. La ausencia de choques térmicos debido a la gran reserva térmica en el lecho resulta en cambios de temperatura muy pequeños que redundan en una vida más larga del refractario y un coste de mantenimiento reducido.

- Alto rendimiento de la combustión. Las altas turbulencias en el lecho de arena aumentan la superficie de contacto entre los lodos y el oxígeno, aumentando el rendimiento de la com-

bustión, con bajas emisiones de CO y NOx.

Las instalaciones existentes de incineración de lodos con horno Degrémont permiten:

- Tratar los lodos en donde se generan (reducción importante de su volumen)

- La valorización energética. Generación de calor, o electricidad útil. Exportación eléctrica a la red, o venta de calor a una red urbana.

- Garantizar un funcionamiento seguro, simple y fiable.

- Mostrar una tecnología madura, probada y con futuro a través de muchas referencias en funcionamiento, y actualmente otras muchas en construcción.

BIBLIOGRAFIA :

Degrémont Marketing Thermylis (2004) – Documento interno del grupo Degrémont (no publicado). Rueil . Francia

Relea J. – La energía de los fangos deshidratados. Su valorización energética con recuperación de energía útil, (Degrémont SA)- IV Jornadas técnicas de gestión de sistemas de saneamiento de aguas residuales . Agencia Catalana del Agua .Barcelona (2009).

Dangtran K., Holst T. Minimization of major pollutants from sewage sludge fluid bed incinerators . (Infilco Degrémont) WEFTEC (2001).

Takmaz L, Dangtran K. – Air emission from sludge fluidized bed incineration system (Infilco Degrémont)- Residuals and biosolids management conference . Cincinnati (2006)

Dangtran K, Mullen J., Mayrose D. – A comparison of fluid bed and multiple hearth biosolid incineration (Infilco Degrémont) Annual residuals and sludge management conference . Boston (2000)