

LA APLICACIÓN SEGURA DE LOS LODOS A LA AGRICULTURA. LA HIDRÓLISIS TÉRMICA: ENERGÍA, SOSTENIBILIDAD Y SALUBRIDAD

Relea Marco, Jaime
Degrémont SA

SUMARIO

El proceso de depuración de las aguas residuales en un gran consumidor de energía. Los incrementos en los costes energéticos del saneamiento, así como la necesidad de preservación del entorno que nos rodea, nos obligan a pensar en soluciones energéticamente eficientes y medioambientalmente sostenibles.

Los lodos de depuradora tienen buenas características para su utilización en la agricultura como fertilizante. Pero, la utilización del lodo en la agricultura como destino final debe comportar las máximas garantías de calidad y salubridad.

Se presenta el proceso de hidrólisis térmica de los fangos como un pre-tratamiento de los mismos combinado con una digestión anaerobia mesofílica. Este proceso genera lodos higienizados libres de patógenos, y sin riesgo de reactivación o crecimiento posterior de los mismos. Los lodos libres de patógenos y de bajo olor tienen una aplicación segura en la agricultura.

Los lodos primarios, biológicos o mixtos son pre-deshidratados, e introducidos en un reactor en donde mediante la aplicación directa de vapor saturado a 7 bar son hidrolizados, cambiando su estructura interna, reduciendo su viscosidad y aumentando su biodegradabilidad, logrando un producto mucho más fácil de digerir.

La hidrólisis térmica se presenta como un sistema maduro, fiable y efectivo que incrementa la producción de biogás en la digestión, reduce las necesidades en volumen de la digestión, consigue incrementar el grado de sequedad de la deshidratación final del lodo digerido, proporcionando lodos finales higienizados Clase A.

PALABRAS CLAVE

Hidrólisis térmica, agricultura, higienización, biogás, deshidratación, vapor, digestión anaerobia.

INTRODUCCIÓN

Digelis Turbo es un proceso de digestión avanzada de lodos de Degrémont que se compone de una etapa previa de hidrólisis térmica y de una digestión anaerobia mesofílica.

La etapa de hidrólisis térmica es un procedimiento patentado por la sociedad noruega CAMBI

LA HIDROLISIS TÉRMICA

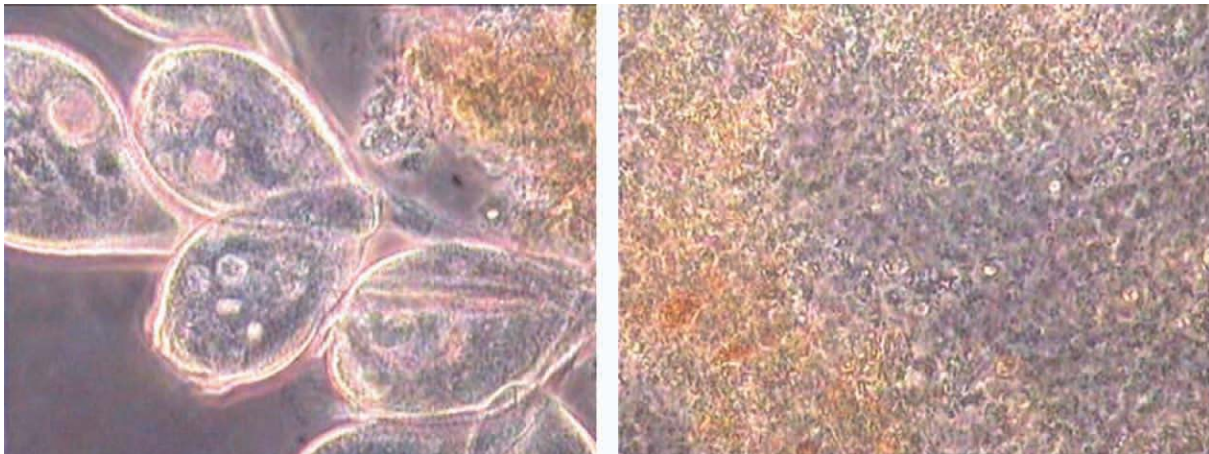
La hidrólisis térmica consiste de forma simple, en disolver la materia orgánica de los lodos utilizando para ello presión y temperatura.

Con la utilización de la hidrólisis térmica se consigue:

- Reducir la cantidad de lodos finales
- Mejorar el proceso de deshidratación de los lodos
- Aumentar la biodegradabilidad de los lodos
- Asegurar la pasteurización (higienización del lodo final)
- Generar más energía (mayor producción de biogás)
- Reducir la huella de carbono (respecto a otros sistemas)

La hidrólisis térmica desintegra la estructura celular de la bacteria y solubiliza los exopolímeros produciendo un producto fácilmente digerible.

Figura 1. Estructura del lodo antes y después de la hidrólisis térmica



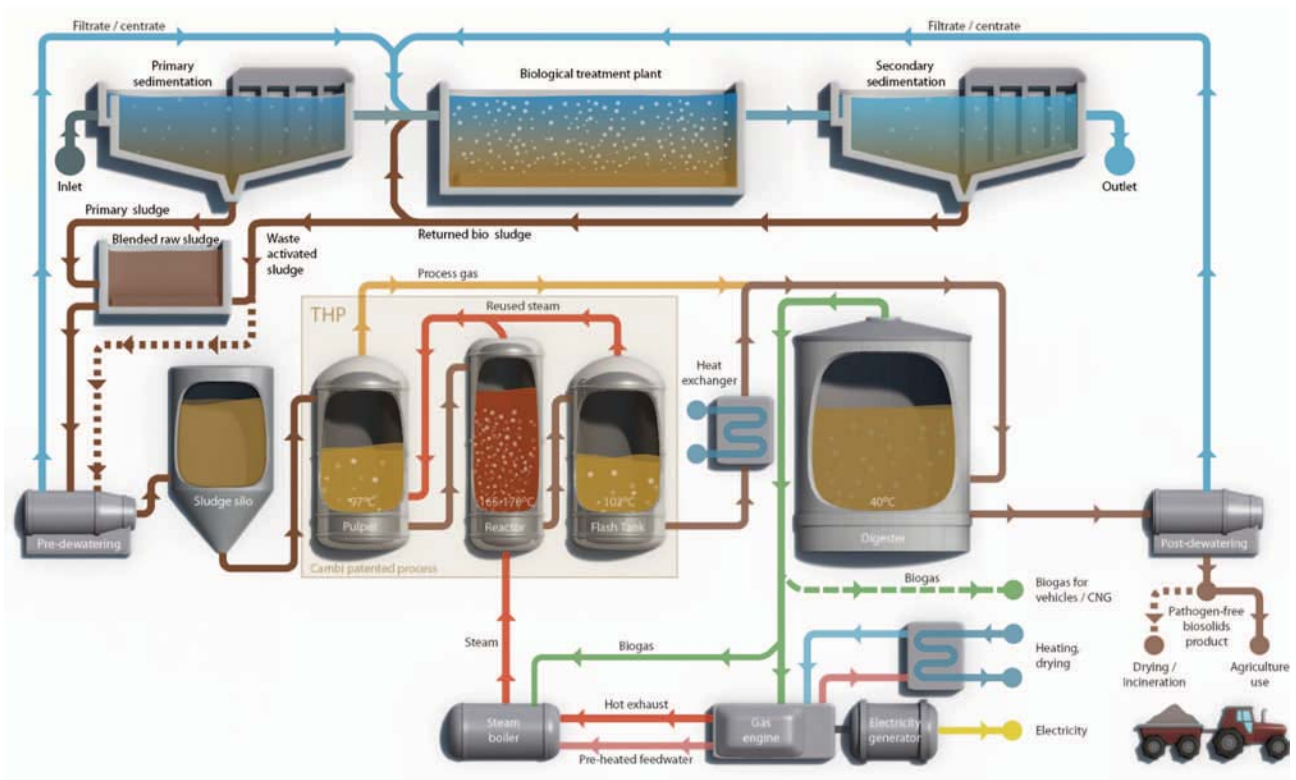
Epistylis 400X

Fuente: Cambi THP

Con la hidrólisis solubilizamos la materia orgánica, consiguiendo mayor velocidad, estabilidad y rendimiento de la digestión, desintegramos las estructuras celulares de las bacterias, mejoramos las propiedades del lodo para ser digerido y deshidratado. Se reduce la viscosidad del lodo, pudiendo alimentar los digestores a una carga del 10-12% de materia seca, y necesitando un volumen de digestión del orden de 2 a 3 veces menor que la digestión convencional.

La hidrólisis térmica se integra en una EDAR como un pre-tratamiento previo a la digestión (Ver figura 2).

Figura 2. La Hidrólisis térmica dentro de una EDAR



Funcionamiento de la hidrólisis

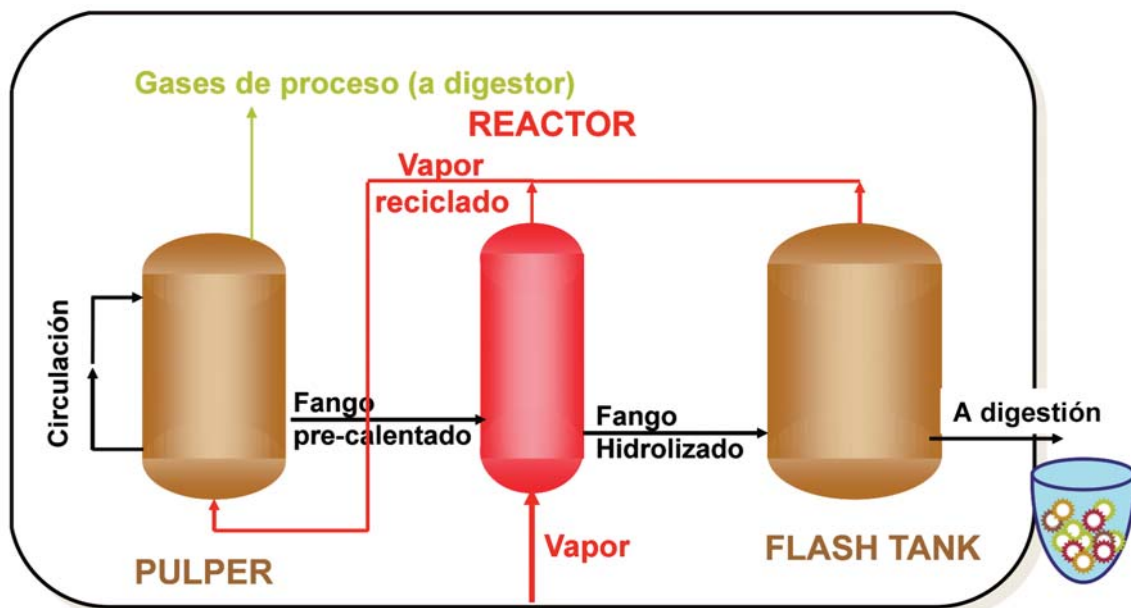
Los lodos procedentes del proceso de decantación primaria y secundaria (biológico) son pre-deshidratados hasta una sequedad del orden del 16-17% antes de ser introducidos en el silo de alimentación de lodos al proceso de hidrólisis.

(Figura 3) Los lodos son enviados a un primer depósito denominado Pulper en donde son calentados mediante la recirculación y utilización de vapor flash del propio proceso de hidrólisis. Los lodos son de esta forma calentados a temperaturas cercanas a 100°C. El Pulper se encuentra a presión atmosférica.

A continuación los lodos pasan a un segundo depósito denominado reactor en donde una vez allí se les aplica vapor saturado directo a 6-7 bar para hacerlos «hervir» y mantenerlos a una temperatura de 165°C aproximadamente durante unos 30 minutos. Posteriormente se despresuriza rápidamente el reactor pasando de 7 a 3 bares y comunicándolo con el Pulper, que aprovecha el vapor flash para calentar el nuevo fango entrante. Posteriormente se despresuriza el reactor de 3 bar a 1,2 bar y los lodos pasan automáticamente a un tercer depósito denominado Flash Tank en el cual los lodos pierden presión y temperatura (hasta unos 100-105°C), cediendo la energía diferencial también al Pulper por medio del vapor flash.

Del depósito Flash los lodos son bombeados a la digestión, siendo diluidos y enfriados previamente mediante un sistema de intercambiadores de calor para su digestión anaerobia a 37-40°C.

Figura 3. Esquema del proceso de hidrólisis



El proceso trabaja en forma discontinua «batch», pudiendo trabajar por línea hasta con seis reactores. Es un sistema modular.

Las claves del proceso de hidrólisis CAMBI son la alimentación a altas concentraciones de materia seca con lo que se optimiza el consumo de vapor (no se necesita vapor extra para calentar el agua que acompaña al lodo).

La inyección directa del vapor vivo y el aprovechamiento del vapor flash nos evitan la utilización de intercambiadores, y su mantenimiento asociado.

El aprovechamiento del vapor en el Pulper nos reduce el salto térmico necesario final, es como si alimentáramos los lodos a 102°C, dando adicionalmente más estabilidad a la operación y facilitando la puesta en marcha del proceso.

Todo el sistema de hidrólisis es cerrado, sin fuga de olores, y sin pérdidas de energía.

Cuando utilizar la hidrólisis térmica

La hidrólisis térmica se presenta particularmente apropiada cuando:

- Tenemos costes elevados y/o dificultad en la gestión de biosólidos. Con la hidrólisis térmica conseguiremos reducir el volumen final de lodos entre un 35 y 50%.
- Tenemos dificultad de deshidratar el fango biológico. Conseguiremos una mejora en la deshidratación final del orden de 8 a 10 puntos más que en la situación convencional (con los mismos equipos de deshidratación).
- Tenemos los digestores sobrecargados y queremos aumentar la capacidad de digestión de los mismos porque hay más lodos a digerir o está prevista una ampliación de la planta. Con la hidrólisis aumentaremos los ratios de digestión a 3-6 Kg. VS/m³/día, y unas concentraciones de 8 a 12 % MS

- Tenemos espacio limitado para ampliar la digestión, y un elevado coste de construcción. La hidrólisis nos permite reducir el volumen de digestión entre 1/3 y 1/2 de una digestión convencional.
- Queremos generar el máximo de energía renovable (biogás) para su valorización eléctrica. Obtendremos en función del tipo de lodo una producción de biogás entre el 20 y 45% mayor.
- Se nos requieren unos lodos finales pasteurizados (higienizados) con garantía de estar libre de patógenos. La hidrólisis produce biosólidos de Clase A

LA APLICACIÓN AGRÍCOLA. LODOS HIGIENIZADOS CLASE A

Un programa de aplicación agrícola de lodos sostenible y con éxito se basa en:

- Aceptación pública (agricultores y público en general)
- Beneficios probados en la aplicación (nutrientes y fertilizantes)
- Reducción de los riesgos: Olores y patógenos

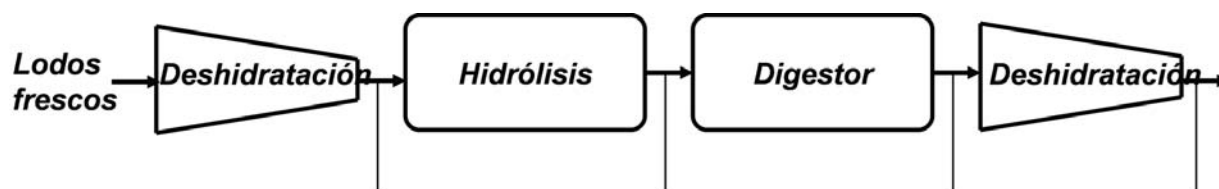
La permanencia de los lodos en los reactores durante el proceso de hidrólisis durante 20-30 minutos a temperaturas superiores a 165°C, permite higienizarlos y cumplir de forma amplia los requisitos de la Clase A de biosólidos de la norma EPA 503 (USA).

Esta particularidad permite la aplicación segura de los lodos en la agricultura, o en cualquier otro proceso o tratamiento posterior.

En comunicaciones recientes y ponencias se ha revelado un aumento y reactivación de los Coliformes fecales y/o E. Coli en fangos digeridos y deshidratados mediante otros sistemas.

Con el sistema de hidrólisis Cambi no se ha detectado en ninguna de las plantas existentes, así como en ensayos comparativos entre distintas tecnologías, ninguna proceso de reactivación, ni crecimiento posterior de bacterias. Las tablas 1 y 2 muestran los análisis de patógenos en dos plantas con hidrólisis Cambi.

Tabla 1. Analítica de bacterias – Cambi en Hias (Noruega)



Thermo tolerant coliform bacteria	Mas de 160.000/g	No detectada	No detectada	No detectada
clostridium perfringens	48 600/g	No detectada	400/g	No detectada
Salmonella	No detectada	No detectada	No detectada	No detectada
Total bacteria (petrifilm)	70 000 000 /g	65 000/g	108 000 /g	570 000/g

Tabla 2. Analítica de bacterias – Cambi en Brisbane (Australia)



Microbiology Unit report

ANALYSIS REPORT

Test Description	Units	Method	07/08773/1 Digester Fedd	07/08773/2 THP Feed	07/08773/3 Centrifuge Feed	07/08773/4 Outloading Sludge
Salmonella spp	Text	External	Not Detected	Detected	Not Detected	Not Detected
E.Coli (MPN) DryWt Calc	cfu(Dry Wt.)	4.415*	<1	207,792	<1	<1
Total Residue	%	1.602(A)	13,1	7,7	4,4	32,3
Moisture Calculation	%	1.602(A)	86,9	92,3	95,6	67,7

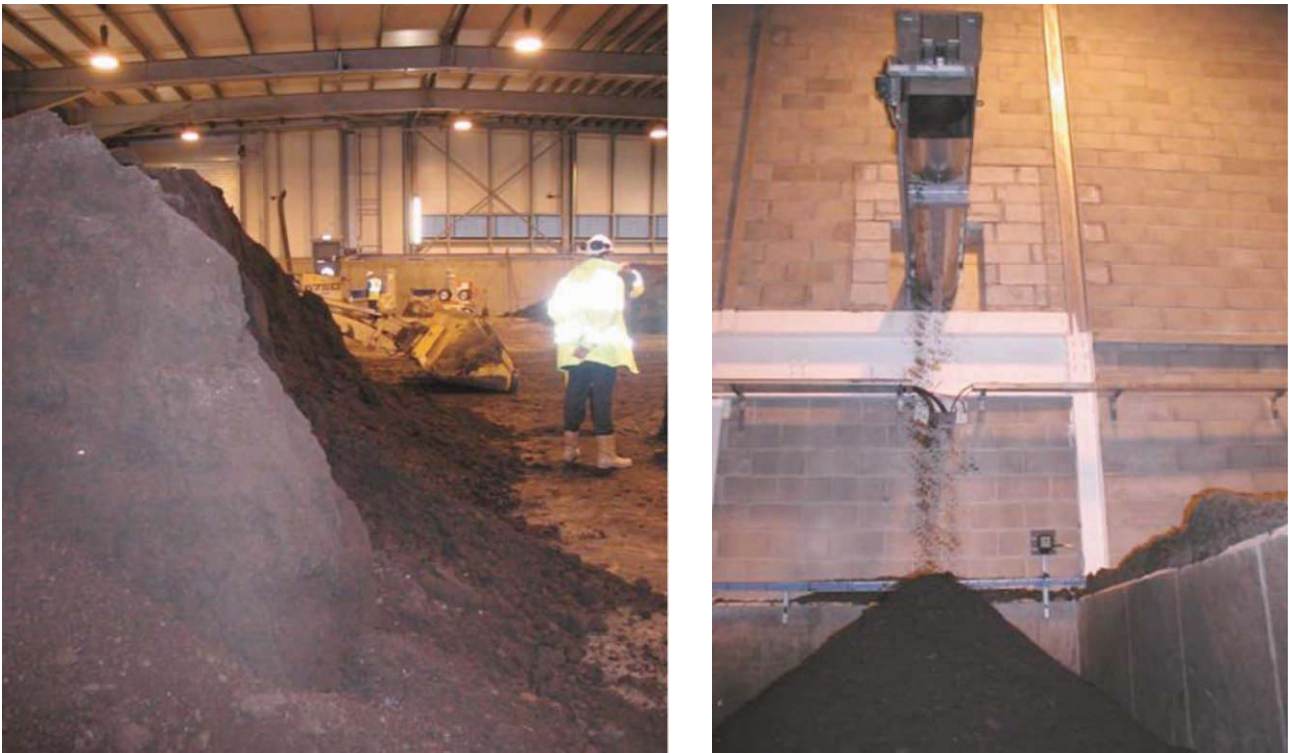
El lodo procedente de un proceso de hidrólisis, además del efecto nutritivo en los suelos, tiene la apariencia de compost, no necesita secado térmico, y cumple la Reglamentación actual y futura previsible.

En la planta de Aberdeen (Escocia – 20.500 t MS/año) la administración pública escocesa requirió Clase A. Se invitó a los agricultores a realizar pruebas. En la actualidad prácticamente no hay almacenaje del lodo. El lodo tiene ahora gran aceptación. La experiencia actual ha mostrado un mayor crecimiento de los cultivos con el lodo Cambi sobre la cebada utilizada en las destilerías de la región para la elaboración del whisky escocés.

Figura 4. Aplicación agrícola de los lodos hidrolizados



Figura 5. Almacenamiento lodos deshidratados. Aumento de sequedad del 33 al 38% después de dos semanas de almacenamiento. Aberdeen (Escocia)



Celtic Anglian Water es un operador privado que en su planta de Ringsend – 57.000 t MS/año – Dublín (Irlanda) tiene además de la hidrólisis un sistema de secado térmico.

Produce dos productos:

- Biofert – procedente de los lodos del secado térmico
- Biocake – procedente de la hidrólisis. (Considerado por los agricultores mejor producto para mejorar el suelo)

Para el almacenamiento en invierno es mejor el Biofert (menor volumen), pero desde el punto de vista energético y económico es mejor el Biocake (no precisa energía para su secado y genera en su proceso, biogás convertible en electricidad).

Anglian Water propietaria de las instalaciones de la EDAR de Cotton Valley – 20.000 t MS/año (Reino Unido) dispone de tres productos:

- Nutrio-Bio procedente del Cambi y que los agricultores de la zona aceptan
- Calci-Cake, lodo tratado con cal.
- Gránulos – procedente de secado térmico

Los agricultores con grandes extensiones prefieren el Nutrio-Bio a los gránulos para mejorar sus campos.

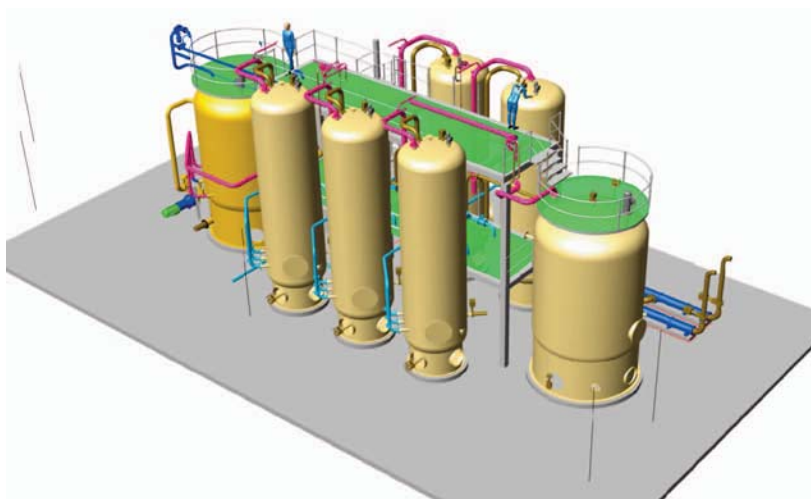
Figura 6. Lodo deshidratado en Cotton Valley (Reino Unido)

LOS REACTORES DE LA HIDRÓLISIS CAMBI

El sistema de hidrólisis CAMBI se basa en un reactor de 12 m³. El sistema es modular permitiendo su ampliación hasta 6 reactores por línea.

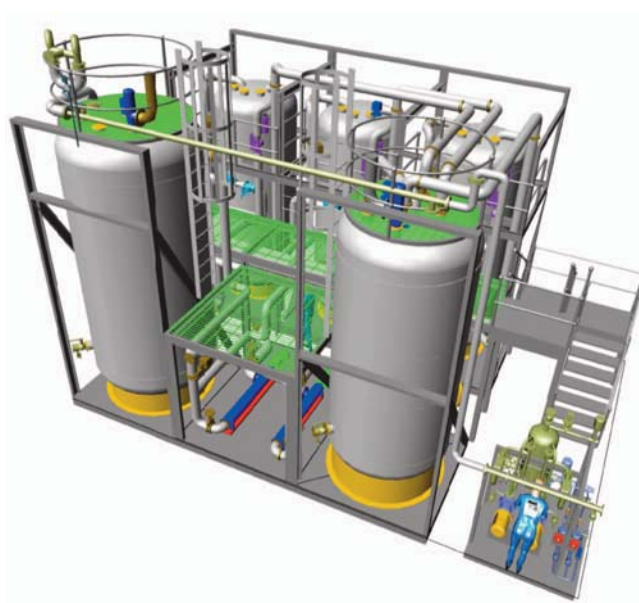
Las capacidades de tratamiento oscilan entre 6.500 y 40.000 t MS/año de fango por línea.

En la Figura 6 se muestra el esquema de un Cambi con 5 reactores, el depósito Pulper y el depósito flash final.

Figura 7. Instalación CAMBI con cinco reactores

Para EDARs más pequeñas, CAMBI ha desarrollado el mismo concepto pero en pequeña escala adaptado a producciones de fangos más bajas. Es el denominado CAMBI Compact con un reactor de 6 m³. El sistema también es modular permitiendo entre uno y tres reactores. El espacio para su implantación es de 6,5 m x 10 m.

Las capacidades de tratamiento van desde unas 3.000 t MS/año hasta 14.000 t MS/año

Figura 8. Instalación Cambi Compact con tres reactores

LA PRODUCCION DE BIOGAS. EL CASO DE LA EDAR DE RINGSEND (IRLANDA)

La EDAR de Ringsend da servicio a 1,6 Millones de h x eqv. (22,3 m³/s)

La planta fue construida en el 2002 dentro del proyecto de ampliación de su capacidad.

En su primera fase la instalación se diseñó para 37.000 t MS/año y disponía de 3 digestores de 4.250 m³ cada uno y dos líneas de secado térmico

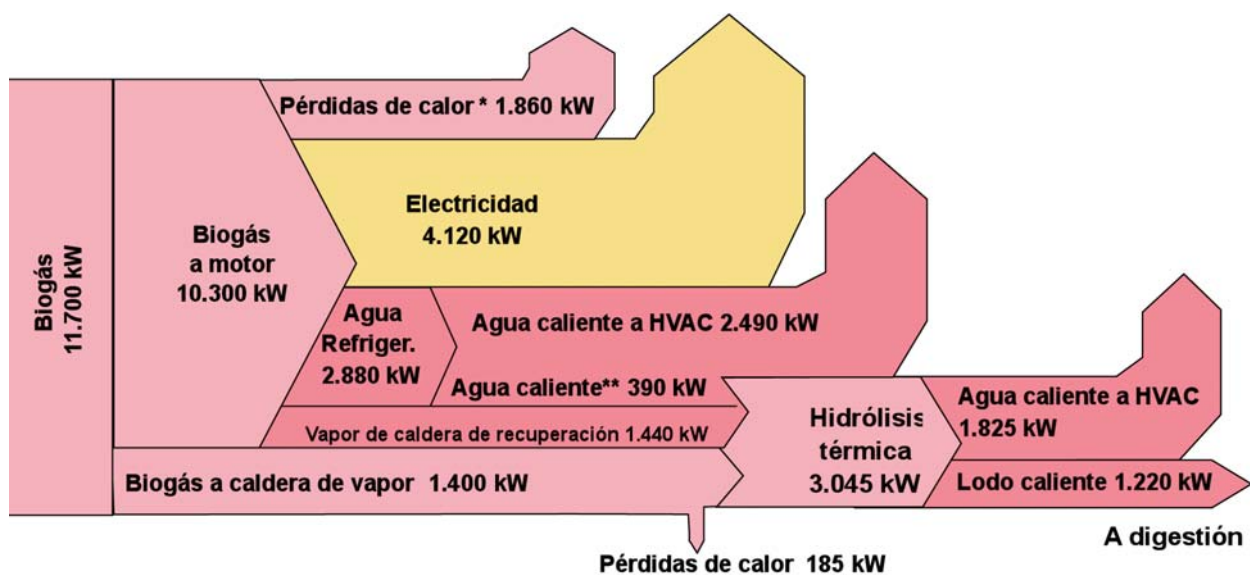
Figura 9. Las dos primeras líneas de hidrólisis en Ringsend (Dublín)

- Características: 2 x 4 reactores con doble depósito Pulper por línea.
- Cogeneración: 4 motores de potencia unitaria 1063 kW
- Sistema de vapor: 2 calderas de recuperación de 1 t/h + caldera convencional a biogás

Tabla 3. Planta de Ringsend – Comparación digestión convencional con la hidrólisis Cambi

	Digestión Convencional	Cambi + Digestión
Capacidad (t MS/año)	37.000	37.000
Alimentación a digestión (%MS)	5	12
Volumen requerido de digestión (m ³)	30.500	12.750
Destrucción de MV en %	42	62
Sequedad obtenida con la deshidratación final (%MS)	25	34
Volumen de lodos (t MF/año)	98.272	54.847
Potencia biogás (kW)	7.933	11.711
Producción de biogás (MWh/año)	69.495	102.588
Potencia eléctrica teórica en kW (88% del biogás con Cambi)	3.173	4.122
Agua a evaporar por secado térmico (hasta 95% MS) en t H ₂ O/año	72.411	35.218
Potencia de secado térmico requerida (tH ₂ O/h)-base 7500 h/año	9,65	4,70

El biogás producido en el proceso de digestión es introducido en los motores de cogeneración que además de generar electricidad de origen renovable, generan calor que a través de las calderas de recuperación proporciona casi la totalidad de las necesidades de vapor que requiere el proceso de hidrólisis. El vapor complementario necesario es proporcionado por la combustión del biogás restante en un quemador en la caldera convencional.

Figura 10. Balance térmico de la hidrólisis en Ringsend


* Pérdidas de calor por radiación(580 kW) + por chimenea(1278 kW)

** Agua caliente para precalentar el agua de alimentación a calderas

El sistema es energéticamente autosuficiente a nivel térmico y proporciona además electricidad «verde».

En Diciembre 2008, la administración pública de Dublín renovó la confianza en el proceso de hidrólisis térmica de CAMBI, adjudicando un nuevo contrato de ampliación del sistema de hidrólisis consistente en una tercera línea adicional para pasar de 37.000 t MS/año a 57.000 t MS/año. Se ha construido un nuevo digester adicional.

SOSTENIBILIDAD. EMISIONES DE CO₂

La digestión mesófila + hidrólisis Cambi, sola o en combinación con otros tratamientos de lodos posteriores es el sistema más sostenible medioambientalmente, por su mayor ahorro global en emisiones de CO₂ de origen fósil.

El proceso de hidrólisis térmica de Cambi combinado con un secado térmico posterior aporta un balance negativo a las emisiones de CO₂ generadas por la suma de:

- Metano evitado en central de ciclo combinado (-) para generación eléctrica equivalente
- Metano consumido como combustible en el secado térmico (+)

Tabla 4. Emisiones equivalentes de la EDAR de Ringsend

	Digestión convencional + Secado térmico	Cambi + Digestión + Secado térmico
Producción eléctrica teórica (MWhe/año)	27.798	36.111
Ratio estimado de eficiencia eléctrica de un ciclo combinado en %	50	50
Metano equivalente utilizado para generar electricidad (MWh/año)	-55.596	-72.222
Metano equivalente utilizado para secado térmico (1 MWht/ 1 t H ₂ O) en MWh/año	72.411	35.218
Total Metano utilizado (MWh/año)		
- PCI: 10 kWh/Nm ₃	16.815	-37.004
Toneladas de CO ₂	3.303	-7.269

PARAMETROS COMPARATIVOS HIDRÓLISIS VS. DIGESTIÓN CONVENCIONAL

Las ventajas descritas hasta ahora de la aplicación de la hidrólisis térmica se pueden resumir en la tabla que se muestra a continuación y que compara los valores técnicos obtenidos por la digestión convencional con los de la hidrólisis para fangos mixtos y solo para fangos biológicos.

Tabla 5. Parámetros técnicos de la hidrólisis térmica vs. digestión convencional

Parámetros	Digestor «Cambi» Primario + Secundario	Digestor convencional Primario + Secundario	Digestor «Cambi» Sólo Secundario	Digestor convencional Solo Secundario
Tiempo de retención	12-15 días	20 días	15 días	20-25 días
Volumen	1/3-1/2 Convencional	1	1/2 Convencional	1
Carga MS	9-12%	4-6%	7-10%	2-5%
Carga VS	5-7 kg/m ³ día	2-3 kg/m ³ día	3-5 kg/m ³ día	1-2 kg/m ³ día
oH	7,5-8	6,8-7,5	7,5-8	6,8-7,5
Temperatura	38-42°C	35-37°C	38-42°C	35-37°C
VFA / Alcalinidad total	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5
Amonio	2500-3000 mg/l	600-1000 mg/l	2500-3000 mg/l	600-1000 mg/l
Calidad biogás	65-68% CH ₄ , H ₂ S ↓↓	60-65% CH ₄ , H ₂ S ↑↑	65-68% CH ₄ , H ₂ S ↓↓	60-65% CH ₄ , H ₂ S ↑↑
<i>Foaming</i>	No	Nocardia, Microthrix	No	Nocardia, Microthrix
Tipo biosólido	Clase A	No clase A	Clase A	No clase A
Sequedad %MS				
Biosólido deshidr.32-40*%	20-25%	28-32%	15-20%	
Destrucción %VS	>60%	40+45%	>50%	30-40%

* Normalmente 32-35% con filtro banda centrífuga. Hasta 40% con filtro prensa.

INSTALACIONES

Desde 1996 hasta la actualidad los equipos de hidrólisis CAMBI instalados en todo el mundo tratan una capacidad total equivalente a 488.600 t MS/año. Población Equivalente > 16,7 Millones

Tabla 6. Lista de referencias de instalaciones de hidrólisis térmica Cambi

Cliente	Ubicación	Capacidad t MS/año	Tipo	Finalizada
HIAS (1)	Hamar (Noruega)	3600	EDAR	1996
Thames Water (2)	Chertsey (Reino Unido)	9600	EDAR	1999
Borregaard Industries	Sarspborg (Noruega)	4000	Papel	2000
Ayuntamiento de Naested	Naested (Dinamarca)	1600	EDAR	2000
Nigg Bay	Aberdeen (Reino Unido)	16500	EDAR	2001
Mjosaniegget Planta de bio-residuos	Lillehammer (Noruega)	4600	Trat. Residuos	2001
Ringsend	Dublin (Irlanda)	36000	EDAR	2002
Ayuntamiento de Fredericia	Fredencia (Dinamarca)	8000	EDAR	2002
Kobelco Eco-Solutions	Niigata (Japón)	1200	EDAR	2002
Spolka Wodna Kapusciska	Bydgoszcz (Polonia)	8000	EDAR	2005
Thames Water	Chertsey (Reino Unido)	Incluido en (2)	Operación	2005-12
HIAS, Digestor termofílico	Hamar (Noruega)	Incluido en (1)	Nuevo digestor	2005
Oxley Creek	Brisbane (Australia)	12900	EDAR	2007
Bruselas Norte	Bruselas (Bélgica)	20000	EDAR	2007
HIAS - Ampliación	Hamar (Noruega)	3600	EDAR	2007
Cotton Valley	Milton Keynes (Reino Unido)	20000	EDAR	2008
Ecopro - planta multi-residuo	Verdal (Noruega)	8000	Trat. Residuos	2008
Whitlingham	Norwich (Reino Unido)	19000	EDAR	2008
Bran Sands	Tees Valley (Reino Unido)	37000	EDAR	2008/2009
Nigg Bay -Ampliación	Aberdeen (Reino Unido)	4000	EDAR	2008
Bioakka Oy	Abo/Turku (Finlandia)	14000	EDAR	2008
Geiselbullach THP-C	Geiselbullach (Alemania)	2000	EDAR	2009
Ringsend - Ampliación	Dublín (Irlanda)	20000	EDAR	2010
Cardiff	Gales (Reino Unido)	35000	EDAR	2010
Afan	Gales (Reino Unido)	25000	EDAR	2010
Bajo Pedido / En Diseño / En Construcción				
Vilnius Vandenys	Vilnius (Lituania)	23000	EDAR	2011
DaWhulme	Dawyhulme (Reino Unido)	91000	EDAR	2011
Riverside	Londres (Reino Unido)	40000	EDAR	2011
Lindum	Drammen (Noruega)	6000	EDAR	2011
Mapocho	Santiago (Chile)	25000	EDAR	2011

CONCLUSION

La Digestión avanzada con Hidrólisis Térmica (THP) de CAMBI permite:

- Reducción del volumen final de biosólidos producidos por:
 - Mayor destrucción de sólidos volátiles
 - Mayor sequedad del producto final
- Mejorar el rendimiento energético de una EDAR: Mayor producción de Biogás aprovechable para generación de electricidad verde bonificada.
- Obtención de biosólidos exentos de Patógenos, Clase A. Los biosólidos resultantes permiten una aplicación segura y salubre en la agricultura, sin riesgos de reactivación de bacterias y de bajo olor.
- Reducción del volumen de la Digestión y de todos los equipos posteriores de tratamiento (deshidratación, secado térmico/solar, incineración, compostaje, almacenamiento,.....)
- Mejorar la estabilidad del proceso de Digestión con una planta Compacta y Automatizada
- Es el tratamiento de lodos más sostenible medioambientalmente. Mayor cantidad de Toneladas de CO₂ de origen fósil evitadas.
- Proceso Maduro, Robusto y Fiable : 14 años de experiencia y 20 plantas en servicio

REFERENCIAS

Harald Kleiven, Lluís Soler, Miguel Angel Sanz. La hidrólisis térmica como pre-tratamiento de fangos de depuradora, una alternativa madura. III Jornadas técnicas de gestión de sistema de saneamiento de aguas residuales. Agencia Catalana del Agua, Barcelona 17 y 18 Octubre 2007.

Jaume Relea. La hidrólisis térmica, una solución energéticamente eficiente y sostenible. II Encuentro sobre valorización energética de lodos de depuración de aguas residuales urbanas. AEAS, Sevilla 20 de Mayo 2009.

La hidrólisis térmica. Un pre-tratamiento de fangos energéticamente eficiente. Revista Retema. Septiembre-Octubre 2009.

Cambi AS (Noruega) Dpto. Marketing - Fotografías y esquemas

Blytt, L.D. The Cambi process and agricultura, a sustainable solution? 14th European Biosolids and Organic resources Conference and Exhibition. Leeds, 9-11 Noviembre 2009.

Panter.K, Wilson S. Operating experience of Aberdeen Cambi thermal Hydrolysis Plant 2002.

CONTACTO

Jaume Relea
Degremont SA
c/ Tuset 8-10, 08006 – Barcelona
Tel: +34 93 217 13 50
Fax: +34 93 237 26 97
Email: jaume.relea@degremont.com