



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Industrial

## EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERIA ELECTRICA

**Autor:** Fernando Sanz Vera

**Director:** Belen Elvira Rendueles...

Cartagena: Junio 2018



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

## Índice.

Índice de Tablas.....	4
Índice de Figuras .....	4
Indice de Graficos.....	6
Agradecimientos. ....	10
1. Introducción. ....	14
2. Objetivos. ....	18
3. Antecedentes bibliográficos. Estado del arte. ....	20
3.1. Depuración de agua residual urbana. Estaciones depuradoras de agua residual convencionales. Evolución histórica de las 3 líneas de tratamiento.....	20
3.2. Gestión de lodos de depuración en las EDAR municipales. ....	21
3.3. valorización de lodos mediante incineración. Etapas del proceso. ....	28
- .....	29
3.3.1. Valorización mediante incineración.....	29
3.3.2. Las principales etapas del proceso de incineración son: .....	33
3.3.3. Tecnologías de incineración:.....	34
3.3.4. Incineración de Residuos Peligrosos y control de la contaminación del Aire. ....	39
3.3.4.1. Incineración de Residuos Peligrosos .....	39
3.3.4.2. CCAA. Control de la contaminación del Aire en la Incineración de residuos peligrosos. Equipos, Sistemas de control de emisiones y limpieza en Incineración de residuos peligrosos. ....	47
3.4. Eficiencia energética del proceso y su Marco legislativo. El factor clave del tratamiento de fangos -La energía .....	58
3.5. Mejores técnicas disponibles tratamientos de residuos. Referente Document on Best Available Techniques for Waste Incineration» de agosto de 2006:.....	59
4. Materiales y Metodos. ....	68
4.1. EDAR Galindo de Sestao ( <i>Consortio Aguas de Bilbao-Bizcaia</i> ). Descripción de la planta y del proceso valorización de lodos. ....	68
4.1.1. -Descripción del horno de lecho fluidizado.....	83
4.1.2. Datos de parámetros de caracterización de lodos para su valorización por incineración.....	88
4.2. Datos analíticos de control parámetros de caracterización de lodos deshidratados de la EDAR Galindo para incineración año 2014.....	94
4.2.1. -Los parámetros de control de lodos deshidratados son:.....	94
4.3. Valores mensuales de contenido en metales pesados en la materia seca de los fangos deshidratados de la EDAR Galindo durante 2014 para su incineración.....	95

4.4.	Valores mensuales de fangos deshidratados T incinerados o transportados a vertedero de la EDAR Galindo en los 2 hornos operativos durante 2014. ....	95
4.5.	- Consumos asociados al proceso de incineración de fangos. ....	96
4.5.1.	Consumo de energía .....	97
4.5.2.	Consumo de Agua .....	98
4.5.3.	Consumo de reactivos del proceso .....	98
4.6.	Aspectos ambientales a considerar: emisiones a la atmósfera, efluentes y residuos....	98
4.6.1.	Condiciones para la protección de la calidad del aire: Identificación de los focos. Catalogación. Valores límite de emisión Real Decreto 653/2003 de 30 de mayo. Programa de vigilancia ambiental.....	100
	.....	100
5.	Resultados y discusión. ....	104
5.1.	Evolución de parámetros de control de lodos EDAR GALINDO 2014 previo a la incineración.....	104
5.1.1.	Volumen de fangos generados en la EDAR Galindo año años 2005, 2006, 2007 y 2014. ....	104
5.1.2.	Evolución mensual de la producción de fangos, estacionalidad año 2014.....	105
5.1.3.	Características de los fangos generados EDAR Galindo para su incineración. ....	106
5.1.4.	Datos de los parámetros de diseño del sistema valorización de lodos EDAR Galindo periodo 2006-2007.....	108
5.1.5.	-Valores mensuales de contenido en metales pesados en la materia seca de los fangos deshidratados de la EDAR Galindo durante 2014 para su incineración. ....	109
5.2.	-Evolución de parámetros de control del residuo valorizado EDAR GALINDO 2014. ...	115
5.3.	Poder calorífico del lodo y balance energético. ....	116
5.4.	Recuperación de energía del proceso. ....	123
5.5.	Control de emisiones. ....	129
5.6.	-Balance económico. Costes .Consumos del Proceso: .....	133
6.	Conclusiones.....	135
7.	Anexos.....	142

## Índice de Tablas.

<i>Tabla 4 1.-Métodos normalizados para el análisis del lodo previo a su valorización energética</i> .....	90
Tabla 4 2 Fango deshidratado 2014. ....	95
Tabla 4 3 Metales Pesados. ....	95
Tabla 4 4 Fango 2014. ....	96
<i>Tabla 4 5 Tiempo de funcionamiento de Turbinas. Fuente: EDAR GALINDO Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia.</i> .....	97
Tabla5 1 Volumen de fangos generados en la EDAR Galindo. ....	104
Tabla5 2.... Contenido en materia seca y volátil de lodos mensuales producidos en 2014.....	106
Tabla5 3 Datos diseño sistema valorización de lodos 2006 EDAR Galindo.....	109
Tabla5 4. Metales analizados en una muestra compuesta mensual	110
Tabla5 5 Metales analizados en una muestra compuesta mensual .....	111
Tabla5 6 Fangos 2014.....	116
Tabla5 7 PARÁMETROS DE AUTOTERMICIDAD Horno nº3 Edar Galindo 2015 .....	117
Tabla5 8 balance térmico hornos 1 y 2 fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .....	120
Tabla5 9.-Energía térmica y eléctrica generada en el proceso fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .....	124
Tabla5 10 Balance energético de la incineración fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .	124
Tabla5 11 Balance de energía eléctrica. fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .....	124
Tabla5 12funcionamiento de las turbinas durante el año 2014.Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .....	129
Tabla5 13 Consumos Horno nº1 Estados .....	134
Tabla5 14Consumo Horno nº2.....	134

## Índice de Figuras.

Figura 3 1 <b>líneas de tratamiento de aguas residuales en las EDAR</b> .....	21
Figura 3 2 Composición de los Lodos de EDAR .....	22
Figura 3 3 :línea de tratamientos de lodos en una EDAR.....	23
Figura 3 4 Gestion de Lodos EDAR .....	24
Figura 3 5 Uso de Lodos fecales como enmienda del suelo.....	25
Figura 3 6. Límites para las concentraciones de metales y metaloides en lodos fecales tratados (biosólidos) que se aplicarán en la tierra, en Unidos y Europa .....	25
Figura 3 7. Alternativas para la recuperación de energía de los lodos: .....	26
Figura 3 8 opciones térmicas... ..	27
<i>Figura 3 9 finalidad de la incineración de residuos.</i> .....	30
Figura 3 10 Instalacion con horno de parrilla.....	34
Figura 3 11 Instalacion con horno rotativo .....	35
Figura 3 12 Esquema de horno rotativo.....	36
Figura 3 13 Esquema de horno de lecho fluidizado. ....	37
Figura 3 14 Sistemas de incineración empleados según naturaleza del residuo.....	39
Figura 3 15 Características de las plantas comerciales/específicas. ....	40

Figura 3 16 Propiedades fisico-quimicas de los lodos secos. ....	47
Figura 3 17 Propiedades fisico-quimicas de los lodos secos. ....	47
Figura 3 18. Composicion de los humos. ....	48
Figura 3 19 Esquema de filtro de ciclón. ....	49
Figura 3 20 Esquema de precipitador electroestático. ....	50
Figura 3 21 Esquema de filtro de tela. ....	51
Figura 3 22 Esquema de limpieza semiseca. ....	53
Figura 3 23 Principio de la incineración en lecho fluido Fuente :Iñaki del Campo .....	58
Figura 3 24 principio de autotermicidad de los fangos. Fuente :Iñaki del Campo.....	59
Figura 3 25 Intercambiador Gases /Aire FUENTE: Jaime Relea 2010 .....	59
Figura 4 1 VISTA AEREA DE LA edar Galindo .....	69
<i>Figura 4 2 Vista aerea de EDAR Galindo. ....</i>	69
Figura 4 3... Decantadores primarios rectangulares .....	71
Figura 4 4... Lagunas o cubas de oxidación de fangos activos.....	72
Figura 4 5 decantadores secundarios.....	72
Figura 4 6...tratamiento terciario y salida del efluente.....	73
Figura 4.7esquema Proceso de depuración.....	74
Figura 4 8("CABB-Folleto Galindo MTr - The-Galindo-WWTP-Leaflet.pdf," n.d.) .....	75
Figura 4 9 Características de los fangos deshidratados para valorización por incineración.....	76
Figura 4 10 ESQUEMA DEL PROCESO DE VALORIZACIÓN DE FANGOS MEDIANTE INCINERACIÓN .....	76
Figura 4 11 Esquema de incinerador de lodos ,caldera y sistema de depuración de gases. ....	78
Figura 4 12 Vista general del incinerador de lodos y tratamiento de humos con aprovechamiento de energía. ....	79
Figura 4 13 Esquema de horno de lecho fluidizado. ....	79
<i>Figura 4 14 El sistema de lecho fluido: El horno Thermylis. ....</i>	80
<i>Figura 4 15 Condiciones de autotermicidad horno nº3.....</i>	81
Figura 4 16 esquema del proceso En el círculo sistema depuración de gase. ....	82
<i>Figura 4 17 características de los lodos para su incineración .....</i>	84
<i>Figura 4 18 esquema del horno de lecho fluidificado.....</i>	84
Figura 4 19 esquema del proceso fluidificación.....	85
Figura 4 20 ... cámara aire caliente fuente: <a href="http://www.degremont.com/">www.degremont.com/</a> .....	85
Figura 4 21 <b>ventilador de alta presión</b> .....	86
Figura 4 22 cúpula refractaria .....	87
Figura 4 23 esquema tratamiento fango lecho fluidificado. ....	89
<i>Figura 4 24 .... trituración del lodo .....</i>	91
Figura 4 25 secado en estufa 105°C.....	91
Figura 4 26 horno mufla para conocer el contenido en cenizas. ....	92
<i>Figura 4 27 calorímetro isoperibólico.....</i>	93
<i>Figura 4 28 Características de los fangos deshidratados para valorización por incineración ....</i>	96
Figura 4 29 Emisiones atmosfera 2006. ....	100
Figura 4 30 Limite de emisiones. Según RD 653/2003 de 30 de mayo. ....	101
Figura 5 1Fango T/año EDAR Galindo. ....	105

Figura 5 2 Volumen fango EDAR Galindo 2014.....	105
Figura 5 3 materia seca fango EDAR Galindo 2014.....	107
Figura 5 4 materia volátil fango EDAR GALINDO 2014.....	107
<i>Figura 5 5 Anexo 1B DEL Rd 1310/1990 aplicación lodos depuradora en agricultura. Valores límites metales pesados mg/Kg materia seca.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 5 6 Valores de metales pesados mg/Kg materia seca para biosolidos USEPA 1999, compost etiqueta ECO 2002 y Legislación española Fuente libro lodos fecales 2014 .....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 5 7 Autotermicidad. Fuente: Nueva instalación de valorización de lodos de la EDAR de Galindo REVISTA RETEMA OCTUBRE 2015. www.retema.es.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 5 8..... autotermicidad de los lodos Fuente : Iñaki del Campo, Degremont. ....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 5 9 balance térmico horno lecho fluido Fuente : Iñaki del Campo, Degremont. ....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 5 10 Vista en detalle de la leyenda de la figura 5.11.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 5 11 Balance térmico de los Hornos 1 y 2 .....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 5 12 ... recuperación de calor en la incineración de lodos Fuente www.degremont.com/ .....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 5 13 Vista en detalle de la leyenda de la Figura 5.17 .....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 5 14 Vista en detalle de la leyenda de la Figura 5.17 .....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 5 15 Vista en detalle de la leyenda de la Figura 5.17 .....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 5 16 Balance energético de la instalación. ....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 5 17 Descripción de los 11 focos de emisión a la atmósfera Edar Galindo. Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 5 18 frecuencia de control de emisiones de los 11 focos Edar Galindo. . Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 5 19 rendimiento fase seca Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 5 20 Rendimiento fase húmeda lavado de gases Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia .....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 5 21.- valores medios diarios de parámetros de control de emisiones en gases de incineración en relación con los límites establecidos legislativamente. Fuente: Consorcio aguas Bilbao Bizkaia .....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 5 22 Datos de consumos de gas y energía eléctrica año 2015. Fuente Consorcio aguas Bilbao Bizkaia .....</i>	<i>135</i>

## Indice de Graficos.

<i>Grafico 5 1 Evolución mensual de metales Al, Fe en el fango Edar Galindo año 2014 .....</i>	<i>112</i>
<i>Grafico 5 2 Evolución mensual de metales Pb, Zn, Cu en el fango Edar Galindo año 2014. ....</i>	<i>112</i>
<i>Grafico 5 3-Evolución mensual de metales Cr, Ni, Mn, Sn en el fango Edar Galindo año 2014. ....</i>	<i>113</i>
<i>Grafico 5 4 Evolución mensual de metales Hg, As, Se, Cd en el fango Edar Galindo año 2014</i>	<i>113</i>

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**



## **Agradecimientos.**

Quisiera agradecer al Consorcio de Aguas de Bilbao por haberme dado autorización para emplear los datos con los que he podido realizar el trabajo así como a José Manuel Villanueva.

Dedico este trabajo a mi madre y a todos aquellos que me han ayudado.







## 1. Introducción.

Los lodos producidos en el sistema de depuración de algunas grandes ciudades son en gran parte urbanos, y una parte también de origen industrial, que los hace inapropiados para su utilización agrícola al contener metales pesados y contaminantes.

La valorización energética de lodos de depuración mediante incineración es hoy en día una realidad viable que no tiene porqué comportar problemas ambientales si se aplican adecuadamente las Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea (Documento BREF, 2011) para Incineración de Residuos. 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 (Relea,2010) se puede aprovechar una fracción de la misma, la materia orgánica o volátil (MV) que tiene un poder calorífico útil (PCI). El objetivo de la incineración de residuos, común a la mayoría de los tratamientos de residuos, es tratar los residuos con el fin de reducir su volumen y peligrosidad, capturando (y por lo tanto concentrando) o destruyendo las sustancias potencialmente nocivas. Los procesos de incineración también pueden ofrecer un medio que permita la recuperación del contenido energético, mineral o químico de dichos residuos.

Según el II Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de aguas Residuales del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2007-2015 estimó que en el año 2013 la gestión mediante empleo en agricultura representa el 81%, la valorización energética el 2,5% (en su mayor parte en cementeras como combustible de sustitución), la **incineración sólo el 5,6%** y el depósito en vertederos controlados el 7%.

En este trabajo se presenta una alternativa viable a la valorización de lodos procedentes de depuradoras urbanas diferente a su valorización energética con producción de biogás o aplicación directa a suelos agrícolas, basándonos en el proceso **Valorización Energética de Lodos en la EDAR de Galindo del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia**. La depuradora sirve a una población equivalente de 1.380.000 habitantes estando dimensionada para tratar 1.642.000 hab/equ<sup>1</sup>. Se depuran al día 350.000 metros cúbicos de aguas residuales mediante un sistema de tratamiento convencional de fangos activos que generan 60.000 t de fangos al

---

<sup>1</sup> Habitantes equivalentes.

año. Los fangos deshidratados se almacenan en 2 silos de 200 t/ c.u<sup>2</sup>. Las instalaciones de tratamiento de fangos están ubicadas en la calle Vega Nueva, s/n en del término municipal de Sestao, ocupando una superficie total de 24.500 m<sup>2</sup>, de los cuales, las edificaciones ocupan 12.670 m<sup>2</sup>. La capacidad máxima de incineración de fangos con recuperación de energía amparada por la autorización AAI<sup>3</sup> se fija en 90.000 toneladas al año. El proceso de valorización de fangos incluye un sistema de cogeneración que aprovecha el calor de los gases de escape para calentar el fluido térmico, así como para generar energía eléctrica.

La incineración de lodos con horno de lecho fluido es la forma más eficiente de tratamiento (Degremont 2010) térmico de éstos y presenta la ventaja de tratar los lodos donde se generan y producir calor, o electricidad útil. 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.

El proceso global convierte prácticamente toda la energía química contenida en el combustible en energía térmica, dejando una parte de energía química sin convertir en gas de combustión y una muy pequeña parte de energía química no convertida en las cenizas. Previo a su valorización ( Colomer *et al*, 2009) se debe determinar su humedad, su poder calorífico en base seca y en base húmeda y su contenido en cenizas. Con estos datos será posible evaluar la rentabilidad energética que supondría una incineración con recuperación de energía a partir de lodo húmedo y de lodo seco. Así mismo, se valorará la posibilidad de someter previamente el lodo a un secado térmico. Por último, se proporcionarán datos sobre el contenido en cenizas de cada tipo de lodo y del contenido en elementos esenciales (C, H, O, N y S).

A efectos reglamentarios el proceso está regulado conforme a lo establecido en el Real Decreto 653/2003, sobre incineración de residuos, se entenderá por “instalación de incineración” cualquier unidad técnica o equipo, fijo o móvil, dedicado al tratamiento térmico de residuos mediante las operaciones de valorización energética o eliminación. Asimismo, el Real Decreto 653/2003 desarrolla la Ley estatal 38/1972 de protección del ambiente atmosférico con referencia a la contaminación ocasionada a la atmósfera y la Ley 10/1998 de residuos. Además, tiene carácter de desarrollo reglamentario de la Ley 12/2002, de 21 de abril,

---

<sup>2</sup> Tonelada cada unidad.

<sup>3</sup> Autorización Ambiental Integrada

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

de residuos y . de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrado de la contaminación (IPPC).



## **2. Objetivos.**

### **.2.1.-DESCRIBIR EL PROCESO DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LODOS PROCEDENTES DE DEPURADORAS URBANAS MEDIANTE INCINERACIÓN**

2.1.a.-Procesos de incineración que consiguen el objetivo de residuo cero, sostenibilidad y eficiencia energética

2.1.b.-Balance energético de la EDAR con valorización energética mediante incineración.

2.1.c.-Problemática de la implantación de la valorización mediante incineración en una EDAR.

### **2.2.- EXPONER UN CASO REAL DE UNA EDAR (EDAR GALINDO DE BILBAO) QUE HAYA IMPLANTADO LA VALORIZACIÓN DE LODOS MEDIANTE INCINERACIÓN.**

2.2.a. Análisis de la motivación para la implantación de la valorización mediante incineración.

2.2.b.-Análisis de la gestión de los lodos con tecnologías sostenibles de la valorización frente a otras soluciones como la gestión en vertederos y uso agrícola de los lodos.

### **2.3.-ANALIZAR LOS PROS Y CONTRAS DE LA IMPLANTACIÓN DE LA VALORIZACIÓN DE LODOS MEDIANTE INCINERACIÓN EN EDAR**

2.3.a.-En base a los aspectos legislativos

2.3.b.- En base a los aspectos ambientales

2.3.c.- En base a los aspectos energéticos

2.3.d.- En base a consumos y costes económicos



### **3. Antecedentes bibliográficos. Estado del arte.**

#### **3.1. Depuración de agua residual urbana. Estaciones depuradoras de agua residual convencionales. Evolución histórica de las 3 líneas de tratamiento.**

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos. La Ley de Aguas de 1985 —y sus posteriores modificaciones— define la contaminación del agua como «la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

El vertido de aguas residuales sin depurar provoca deterioros en el medio ambiente, afectando tanto a ecosistemas acuáticos como riparios y supone riesgos para la salud pública. Por ello, es necesario el tratamiento de estas aguas antes de su vertido.

La legislación actual establece la obligación de depurar la totalidad de las aguas residuales urbanas, mediante tratamiento secundario u otro adecuado, en municipios de más de 2.000 habitantes del 1 de enero de 2006 (Directiva UE 91/271, transpuesta al ordenamiento jurídico español por el Real Decreto 11/1995).

Una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) puede definirse como un complejo de instalaciones en las que el agua residual proveniente de los núcleos urbanos o grandes industrias, más el agua proveniente de las lluvias (agua de escorrentía) transportada por las alcantarillas, colectores y emisarios, es sometida a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos para la eliminación de la contaminación e impurezas, garantizando la calidad de agua requerida según los usos previstos para ella, pudiendo reutilizarse en actividades y/o en servicios que no requieran calidad de agua potable.

Así, los objetivos de una depuradora se concretan en los siguientes:

- Eliminación de residuos, aceites, grasas, flotantes, arenas, etc, y evacuación a punto de destino final adecuado.
- Eliminación de materiales decantables orgánicos o inorgánicos.

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

- Eliminación de materia orgánica.
- Eliminación de compuestos amoniacales y que contengan fósforo (en aquellas que viertan a zonas sensibles).
- Transformar los residuos retenidos en fangos estables y que éstos sean correctamente dispuestos.

En una EDAR moderna se diferencian 3 líneas de procesos de tratamiento formados por varias operaciones unitarias: Líneas de agua, línea de fango y línea de gas. En estos procesos se generan diferentes tipos de productos y residuos. La línea de agua es la línea principal de una EDAR, corresponde a la parte del proceso de depuración que se centra únicamente en el tratamiento de las aguas residuales.

A la entrada de la depuradora, el agua es tratada con el objetivo de mejorar su calidad tanto como sea posible y adecuadamente a la normativa vigente, ya que su destino es ser vertida a un cauce receptor.

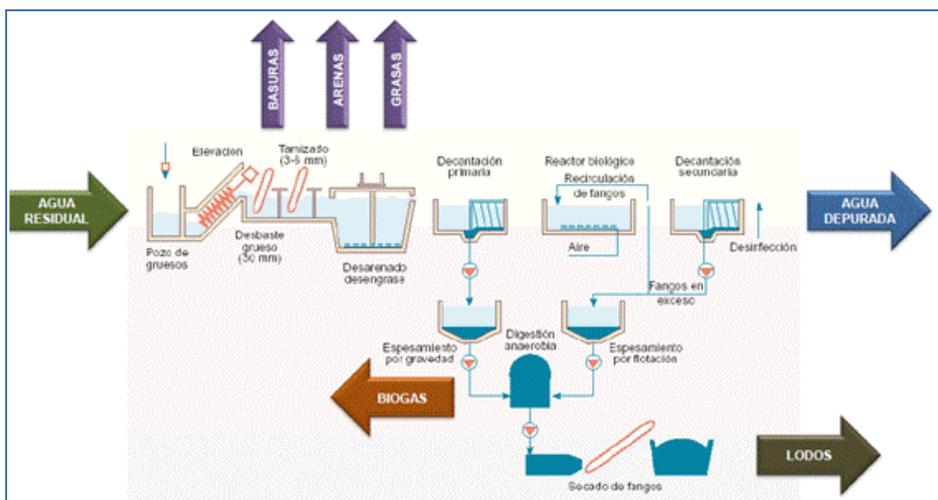


Figura 3 1 líneas de tratamiento de aguas residuales en las EDAR Fuente: EPSAR entidad saneamiento comunidad valenciana. [www.epsar.gva.es/](http://www.epsar.gva.es/)

### 3.2. Gestión de lodos de depuración en las EDAR municipales.

Se define como LODOS: subproducto principal del proceso de depuración de aguas residuales, compuesto de residuo seco (18 – 25 %) y agua (75 – 82 %).

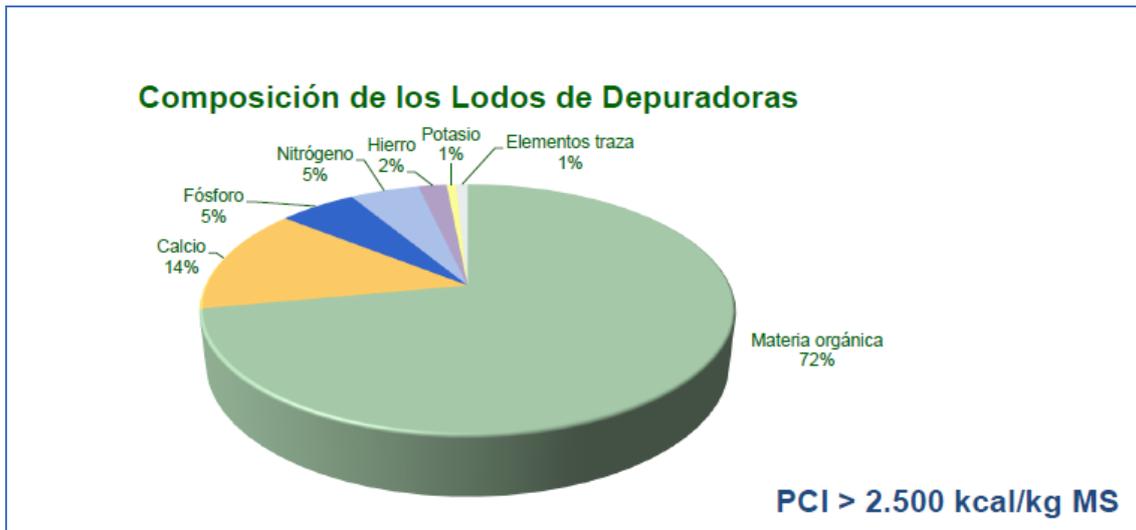


Figura 3 2 Composición de los Lodos de EDAR Fuente [www.epsar.gva.es/](http://www.epsar.gva.es/)

Una vez tratados, los lodos pueden ser sometidos a otras operaciones de tratamiento finalistas que aseguran un destino final adecuado y ambientalmente seguro. Los lodos pueden ser aplicados en los suelos agrícolas, conforme a lo que establece el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario; incinerados en instalaciones de incineración de residuos o co-incinerados en cementeras conforme al Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, y depositados en vertederos siempre que cumplan las condiciones que se establecen en el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

La regulación relativa a la utilización de lodos de depuración en el sector agrario crea el Registro Nacional de Lodos (RNL), que incluye la información que deben suministrar las instalaciones depuradoras, las instalaciones de tratamiento de lodos y los gestores que realizan la aplicación agrícola. La actualización de la información contenida en dicho Registro debe hacerse conforme a lo que establece la Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.

La gestión de lodos de las depuradoras de aguas residuales, código LER<sup>4</sup> 190805, tiene la peculiaridad de que ciertos usos y posibilidades de reciclaje están regulados por normas específicas, con el objeto de limitar el posible efecto nocivo sobre factores ambientales como

<sup>4</sup> Lista Europea de residuos

agua, suelo, vegetación, animales y ser humano. Por otra parte, se ha observado un incremento continuado en la generación de lodos de depuradoras debido al importante aumento de caudal de la depuración de aguas residuales, de forma que mientras que en el año 1998 se generaban en España alrededor de 800.000 toneladas de lodos, en el año 2005 esta cantidad se había incrementado en un 39%. Además es necesario conocer previamente el contenido y las formas químicas de los metales pesados que contiene, es decir, su biodisponibilidad, ya que estos elementos además de no ser biodegradables pueden ser tóxicos a muy bajas concentraciones y tienden a acumularse a lo largo de la cadena alimentaria humana, lo que hace que lodos con estas características deban ser gestionados como residuos peligrosos (Colomer et al.,2009). Aparte de los problemas ambientales y sanitarios hay que tener en consideración que los lodos con secado mecánico procedentes de las depuradoras suelen tener contenido en agua bastante elevado, próximo al 70-75%, lo cual incrementa los costos de manipulación y transporte y dificulta su incineración.

Los lodos en las EDAR son estabilizados, secados y digeridos usando diferentes tecnologías de tratamiento o combinaciones de éstas. Cada tecnología genera productos que tienen que ser: (1) tratados más, (2) desechados en alguna parte adecuada o (3) aprovechados para la recuperación de recursos.

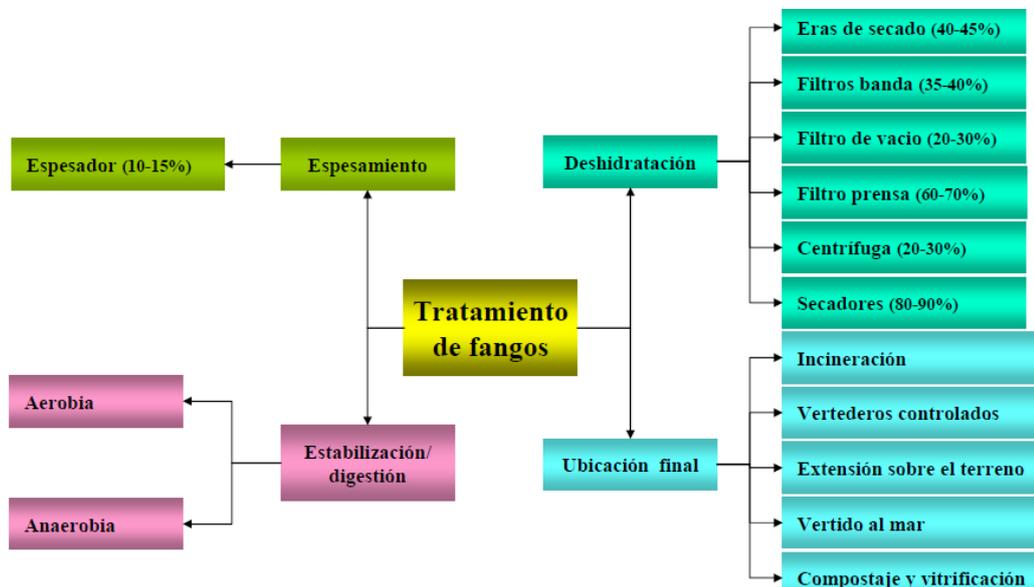


Figura 3 3 :línea de tratamientos de lodos en una EDAR. Fuente: tratamiento de lodos de depuradora., Antonio Aznar y J.C. Cabanelas Universidad Carlos III de Madrid.

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

Cada uno de los productos, por ejemplo, lodos secos, compost, lixiviados y biogás, tiene un valor intrínseco que puede servir para transformar el tratamiento en una manera de recuperar recursos y crear valores y no solamente una medida de protección del ambiente y la salud pública (Kengne et al .,2014 libro lodos fecales). Al implementar la recuperación de recursos, es primordial evaluar sus posibles constituyentes que podrían impactar a los humanos y el ambiente, como es el caso de los patógenos y los metales pesados. También, es necesario tomar en cuenta ciertos factores sociales, como la aceptabilidad y la demanda del mercado, a fin de asegurar una buena aceptación de los productos.

**ALTERNATIVAS PARA LA GESTIÓN DE LODOS**

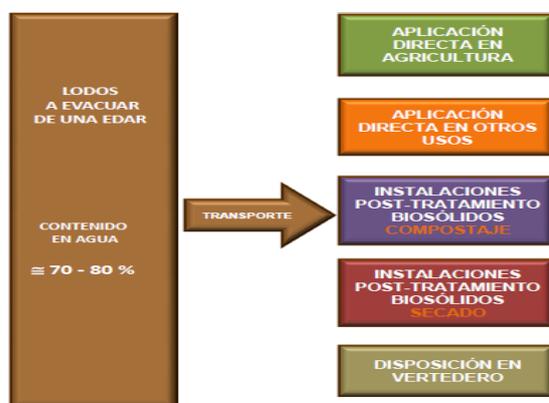


Figura 3 4 Gestión de Lodos EDAR Fuente: EPSAR entidad saneamiento comunidad valenciana. [www.epsar.gva.es/](http://www.epsar.gva.es/)

**Uso de lodos fecales como enmienda del suelo:**

El uso de LF<sup>5</sup> como una enmienda del suelo puede variar desde su entierro en zanjas profundas hasta la venta comercial del compost empacado para uso por las familias en la horticultura y la jardinería. Según Strauss, 2000, su uso como enmienda del suelo ofrece muchas ventajas sobre aplicar solo fertilizantes químicos (Kengne et al .2014) La materia orgánica en los LF incrementa la capacidad de retención del agua del suelo, contribuye a la estructura, reduce la erosión y es una fuente de nutrientes liberados paulatinamente.

<sup>5</sup> Lodos Fecales.

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

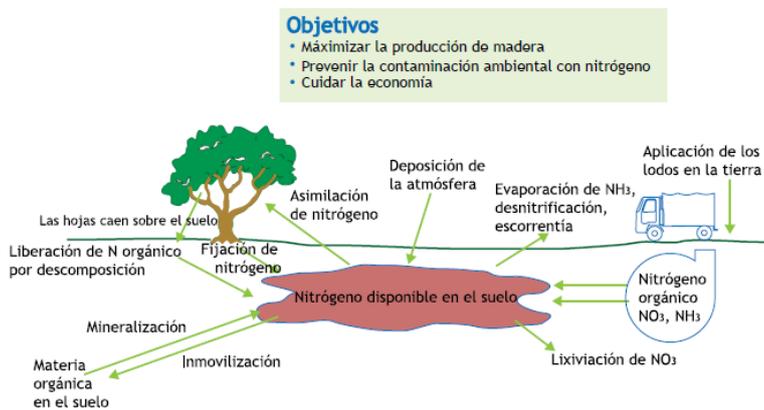


Figura 3 5 Uso de Lodos fecales como enmienda del suelo. Fuente LIBRO LODOS FECALES TRADUCIDO DE Faecal Sludge Management: systems approach for implementation and operation

Sin embargo, es necesario analizar el destino de los posibles patógenos y metales pesados que podrían estar presentes. Debido a su toxicidad y efectos negativos a largo plazo sobre los suelos, los metales pesados representan un peligro. Deben ser evaluados independientemente caso por caso, pero sólo son de mayor preocupación cuando los LF están mezclados con aguas servidas industriales (no debidamente pretratadas). La Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (USEPA) ha establecido límites para las concentraciones de metales pesados en lodos de aguas servidas a aplicarse en la tierra, basándose en lo que se considera un ‘escenario del peor de los casos’ de acumulación de los metales a lo largo de 100 años de deposición. Estos límites conservadores han sido determinados para proteger la salud humana y ambiental.

Parámetro	Límite (mg/kg)		
	Biosólidos de ‘calidad excepcional’ (USEPA, 1999)	Compost ‘etiqueta eco’ (Hogg et al., 2002)	España (Hogg et al., 2002)
Arsénico (As)	41		
Mercurio (Hg)	17		
Hierro (Fe)	no medible	–	–
Plomo (Pb)	300	100	750
Níquel (Ni)	420	50	300
Cromo (Cr)	1.200	100	1.000
Cadmio (Cd)	39	1	20
Cobre (Cu)	1.500	100	1.000
Zinc (Zn)	2.800	50	2.500
Selenio (Se)	36	–	–

Figura 3 6. Límites para las concentraciones de metales y metaloides en lodos fecales tratados (biosólidos) que se aplicarán en la tierra, en Estados Unidos y Europa Fuente libro lodos fecales 2014

Las tecnologías de tratamiento y procesamiento, como lechos de secado, compostaje y la granulación generan lodos secos que sirven como enmiendas del suelo. El cantidad de patógenos que permanecen en estos depende de la tecnología o conjunto de estas que ha sido seleccionado. Jordan y colaboradores en 2005 indican que los lodos secados de aguas servidas o LF tienen cualidades similares a ciertos materiales tradicionales de construcción, como la roca calcárea y la arcilla. Otro posible método para integrar los LF en la fabricación de cemento es estabilizarlos con cal. Los LF también pueden ser usados en la fabricación de cerámicas (Kengne et al .,2014) se han realizado experimentos con resultados alentadores acerca de la inclusión de LF en la arcilla para hacer cerámicas. Mezclaron del 1 al 10 %, en peso, de lodos secos de aguas servidas y esto aumentó la permeabilidad de la arcilla y redujo su resistencia a la flexión.

**Valorización energética de lodos:**

El II Plan de Lodos de Depuradora establece como objetivo que en el año 2010 un 15% de lodos de depuradora sean valorizados energéticamente.

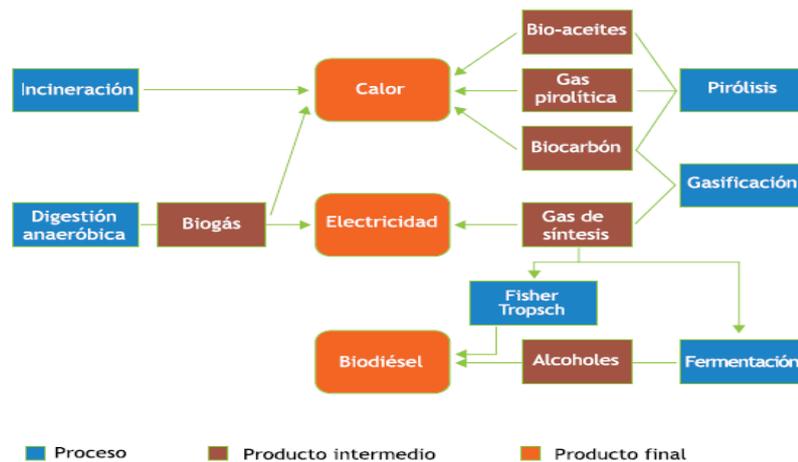


Figura 3 7. Alternativas para la recuperación de energía de los lodos: Fuente libro lodos fecales 2014

Existen varias opciones biológicas y térmicas (Kengne et al .,2014 libro lodos fecales) para la generación de energía basada en los LF. Estas tecnologías han estado recibiendo cada vez más atención, debido a la gran demanda de biocombustibles sostenibles. Las tecnologías incluyen la digestión anaeróbica, que produce biogás, calor y digestato (lodos); pirólisis o gasificación, que genera biocarbón, aceites y gases; biodiésel, que puede ser fabricado mediante la fermentación o reacciones químicas sucesivas y la incineración de los LF secos. Esta recuperación de energía aprovecha el potencial energético de la materia orgánica presente en los LF, pero se desperdician generalmente los nutrientes.

**La incineración** es la combustión completa de la materia orgánica a altas temperaturas y puede servir como mecanismo de disposición o para la generación de calor o electricidad. La incineración de los lodos de aguas servidas es una práctica relativamente común en Europa y los EE.UU. Al quemar los lodos, se los convierte en cenizas que ocupan la décima parte del volumen, están compuestas principalmente de materia inorgánica y ya no contienen patógenos debido a las altas temperaturas. Disponemos de varios métodos para la incineración de LF y su combustión. Las cenizas restantes pueden desecharse en un lugar adecuado o pueden aprovecharse en la fabricación de materiales de construcción.



Figura 3 8.- opciones térmicas... Fuente: libro lodos fecales 2014

Rulkens en 2008, dice que la incineración emite gases contaminantes a la atmósfera y un sistema de limpieza del humo antes de su liberación en la atmósfera es generalmente muy caro (Kengne et al., 2014). A pesar del alto contenido de nitrógeno en los LF, se ha demostrado que la emisión de óxidos nitrosos en su incineración es menor que con la del carbón. Las emisiones de dioxinas y furanos es menor en la incineración de LF que en la de desechos sólidos municipales.

Previo a su valorización (Colomer et al., 2009) se debe *determinar su humedad, su poder calorífico en base seca y en base húmeda y su contenido en cenizas. Con estos datos será posible evaluar la rentabilidad energética que supondría una incineración con recuperación de energía a partir de lodo húmedo y de lodo seco. Así mismo, se valorará la posibilidad de someter previamente el lodo a un secado térmico. Por último se proporcionarán datos sobre el contenido en cenizas de cada tipo de lodo y del contenido en elementos esenciales (C, H, O, N y S).*

### **3.3. valorización de lodos mediante incineración. Etapas del proceso.**

Hoy en día, podemos decir que existen diferentes tecnologías que se pueden aplicar para la valorización energética de los residuos (IDAE 2011). La mayoría de ellas consisten en procesos de tratamiento térmico como son la incineración, la gasificación, la pirólisis o la gasificación por plasma. Cada una de estas se encuentra en un estado de desarrollo de distinto nivel.

También encontramos la biometanización o digestión anaerobia de la fracción orgánica con valorización del biogás obtenido, como una posibilidad adicional de aprovechamiento energético de los residuos.

Por otra parte, también se ha prestado especial atención en este estudio a la producción de combustibles de residuos (CDR o CSR) y a su aprovechamiento en instalaciones como las plantas cementeras, centrales térmicas o en algunos hornos industriales como combustible sustitutivo.

Estas posibles alternativas pueden coexistir en un mismo modelo de gestión de los residuos. De todas formas, a la hora de seleccionar una tecnología deben tenerse en cuenta algunos aspectos fundamentales como son, entre otros, los siguientes:

- El tipo de residuo o mezcla de residuos a valorizar energéticamente,
- Que la tecnología sea flexible, es decir, que sea capaz de responder ante variaciones en las características de los residuos, los cuales presentan normalmente una gran heterogeneidad en su composición,
- La experiencia y madurez de la tecnología en aplicaciones de las mismas características a las que se quiere implantar,
- La viabilidad económica.

De entrada, podemos decir que, de todas las alternativas indicadas, la incineración, la digestión anaerobia y la co-incineración en algunas aplicaciones industriales, son las más probadas y desarrolladas en su aplicación.

-

### **3.3.1. Valorización mediante incineración.**

Según el documento MTDs Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos (MARM 2011), el objetivo de la incineración de residuos es tratar los residuos con el fin de reducir su volumen y peligrosidad, capturando (y por tanto concentrando) o destruyendo las sustancias potencialmente nocivas que se emiten, o se pueden emitir, durante la incineración. Los procesos de incineración también pueden ofrecer un medio que permita la recuperación del contenido energético, mineral o químico de los residuos.

Básicamente, la incineración de residuos es la oxidación de las materias combustibles contenidas en el residuo. Los residuos suelen ser materiales muy heterogéneos, consistentes esencialmente en sustancias orgánicas, minerales, metales y agua. Durante la incineración se crean gases de combustión que contienen la mayor parte de la energía del combustible disponible en forma de calor.

Las sustancias orgánicas de los residuos se queman al alcanzar la temperatura de ignición necesaria y entrar en contacto con oxígeno. El proceso de combustión en sí se produce en la fase gaseosa en fracciones de segundo y libera energía de forma simultánea. Cuando el valor calorífico del residuo y el suministro de oxígeno es suficiente, esto puede producir una reacción térmica en cadena y combustión autoalimentada, es decir, que no requiere la adición de otros combustibles. En la incineración plenamente oxidativa, los principales componentes de los gases de combustión son: vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno. Según la composición del material incinerado y las condiciones operativas, se forman o quedan pequeñas cantidades de CO, HCl, HF, HBr, HI, NOX, SO<sub>2</sub>, VOC, PCDD/F, PCB y compuestos de metales pesados (entre otros).

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

Objetivo	Responsabilidad del
• destrucción de sustancias orgánicas	Horno
• evaporación de agua	
• evaporación de sales inorgánicas y metales pesados volátiles	
• producción de escoria potencialmente explotable	
• reducción del volumen de los residuos	
• recuperación de energía aprovechable	Sistema de recuperación de energía
• eliminación y concentración de materia inorgánica y metales pesados volátiles en residuos sólidos, como residuos de limpieza de gases de combustión o lodo del tratamiento de aguas residuales	Sistema de limpieza de los gases de combustión
• minimización de las emisiones a todos los medios	

Figura 3 9.- finalidad de la incineración de residuos. Fuente: Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos (MARM 2011)

En la incineración tiene lugar la combustión, reacción química que se basa en una oxidación térmica total en exceso de oxígeno.

Las características generales de la incineración de residuos son las siguientes:

- Se requiere un exceso de oxígeno respecto al estequiométrico durante la combustión, para asegurar una completa oxidación.
  - La temperatura de combustión está, típicamente, comprendida entre los 850 °C y 1.100 °C después de la última inyección de aire secundario, en función de la composición en compuestos halogenados del residuo a tratar.
  - Como resultado del proceso de incineración se obtiene: – Gases de combustión, compuesto principalmente por CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> no reaccionado, N<sub>2</sub> del aire empleado para la combustión y otros compuestos en menores proporciones procedentes de los diferentes elementos que formaban parte de los residuos. Los componentes minoritarios presentes dependerán de la composición de los residuos tratados. Así pues, pueden contener gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos que no se hayan oxidado. Finalmente, los gases de combustión contendrán partículas, que son arrastradas por los gases.
- Residuo sólido, compuesto fundamentalmente por escorias inertes, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión.

El proceso global convierte prácticamente toda la energía química contenida en el combustible en energía térmica, dejando una parte de energía química sin convertir en gas de combustión y una muy pequeña parte de energía química no convertida en las cenizas.

El aprovechamiento del calor de ese proceso se realiza mediante la generación de vapor de agua recalentado, con rendimientos térmicos del orden del 80%, debido a las pérdidas caloríficas tanto en el horno como en la caldera y por la temperatura mínima de salida de los gases de combustión de la caldera de recuperación.

El uso posterior del vapor, para la obtención de energía mecánica y eléctrica, tiene limitaciones en el rendimiento por razones termodinámicas en los ciclos térmicos en los que interviene el vapor, lo que supone una pérdida muy importante de energía en el foco frío del ciclo térmico.

Según el tipo de horno de combustión que se utilice se puede diferenciar entre: incineración en horno de parrilla, incineración en horno rotativo, o incineración en lecho fluido.

**INSTALACIÓN DE INCINERACIÓN O COINCINERACIÓN. AMBITO LEGISLATIVO: Real Decreto 653/2003, sobre incineración de residuos IDAE 2011.**

A efectos de lo establecido en este Real Decreto, se entenderá por *“instalación de incineración”* cualquier unidad técnica o equipo, fijo o móvil, dedicado al tratamiento térmico de residuos mediante las operaciones de valorización energética o eliminación, tal como se definen en los apartados R1 y D10 del Anexo 1 de la Orden MAM/304/2002, con o sin recuperación del calor. A estos efectos, en el concepto de tratamiento térmico se incluye la incineración por oxidación de residuos, así como la pirólisis, la gasificación u otros procesos de tratamiento térmico, como el proceso de plasma, en la medida en que todas o parte de las sustancias resultantes del tratamiento se destinen a la combustión posterior en las mismas instalaciones.

Esta definición comprende el lugar de emplazamiento y la instalación completa, incluidas todas las líneas de incineración y las siguientes instalaciones:

- a) Las instalaciones de recepción, almacenamiento y pretratamiento o tratamiento previo in situ de los residuos.
- b) Los hornos de combustión, incluyendo los sistemas de alimentación de residuos, combustible y aire y de recogida de los residuos de combustión.
- c) La caldera y el sistema de recogida de cenizas volantes.
- d) Las instalaciones de tratamiento de los gases de combustión.

e) Las instalaciones de valorización, eliminación o almacenamiento in situ de los residuos de la incineración y de las aguas residuales, así como de tratamiento de estas últimas, si también se realiza in situ.

f) La chimenea.

g) Los dispositivos y sistemas de control de las operaciones de incineración, de registro y de seguimiento de las condiciones de incineración.

*“Instalación de coincineración”*: toda instalación fija o móvil cuya finalidad principal sea la generación de energía o la fabricación de productos materiales y que, o bien utilice residuos como combustible habitual o complementario, o bien los residuos reciban en ella tratamiento térmico para su eliminación.

Si la coincineración tiene lugar de tal manera que el principal propósito de la instalación no sea la generación de energía o producción de productos materiales sino más bien el tratamiento térmico de residuos, la instalación se considerará como instalación de incineración.

Esta definición comprende el emplazamiento y la instalación completa, incluidas todas las líneas de coincineración y las instalaciones de recepción, almacenamiento y pretratamiento in situ de los residuos; los sistemas de alimentación de residuos, combustible y aire; la caldera; las instalaciones de tratamiento de los gases de combustión; las instalaciones de tratamiento o almacenamiento in situ de los residuos de la incineración y de las aguas residuales; la chimenea; así como los dispositivos y sistemas de control de las operaciones de incineración, de registro y de seguimiento de las condiciones de incineración

El Real Decreto 653/2003 incorpora en el ordenamiento interno la Directiva 2000/76/CE relativa a la incineración de residuos.

Este Real Decreto tiene como objetivo establecer las medidas a las cuales se tienen que ajustar las actividades de incineración y coincineración de residuos, con la finalidad de impedir y limitar los riesgos para la salud y los efectos negativos sobre el medio ambiente de las actividades de incineración y coincineración de residuos:

- Establece condiciones más exigentes en la entrega y la recepción de los residuos en los incineradores.
- Exige más requisitos técnicos a las instalaciones para construirlas y hacerlas funcionar.
- Unifica los valores límite para los residuos que se incineren o coincineren.

- Limita de una manera más restrictiva las emisiones a la atmósfera de los diferentes contaminantes.

Asimismo, el Real Decreto 653/2003 desarrolla la Ley estatal 38/1972 de protección del ambiente atmosférico con referencia a la contaminación ocasionada a la atmósfera y la Ley 10/1998. Además, tiene carácter de desarrollo reglamentario de la Ley 12/2002, de 21 de abril, de residuos. También tiene carácter de desarrollo reglamentario de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrado de la contaminación (IPPC), ya que dentro de su ámbito de aplicación están incluidas las incineradoras de residuos peligrosos con capacidad de más de 10 t/día y las incineradoras de residuos urbanos o municipales con capacidad de más de 3 t/hab.

#### **Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control integrado de la Contaminación (IPPC)**

Transposición al ordenamiento interno de la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996. El objetivo es la protección ambiental respecto a las instalaciones industriales contaminantes. Se establecen medidas para evitar o reducir las emisiones de las actividades industriales a la atmósfera, el agua y el suelo.

En el Anexo I se recogen las categorías de actividades industriales e instalaciones en que es aplicable la ley, que establece que las instalaciones para incinerar los residuos deben tener una capacidad de más de 3 t/h. Las instalaciones para eliminar los residuos no peligrosos, en lugares diferentes a los vertederos, tienen una capacidad de más de 50 t/día.

### **3.3.2. Las principales etapas del proceso de incineración son:**

1. **Secado y desgasado:** aquí, se desprende el contenido volátil (como hidrocarburos y agua) a temperaturas generalmente entre 100 y 300 °C. El proceso de secado y desgasado no requiere ningún agente oxidante y sólo depende del calor aportado.

2. **Pirólisis y gasificación:** la pirólisis es la descomposición ulterior de las sustancias orgánicas en ausencia de un agente oxidante a unos 250-700 °C. La gasificación de los residuos carbonados es la reacción de los residuos con vapor de agua y CO<sub>2</sub> a temperaturas que normalmente están entre 500 y 1000 °C, pero puede producirse a temperaturas de hasta 1600 °C. Con ello se transfiere materia orgánica sólida a la fase gaseosa. Además de la temperatura, esta reacción se ve apoyada por agua, vapor y oxígeno.

3. **Oxidación:** los gases combustibles creados en las etapas anteriores se oxidan, según el método de incineración seleccionado, a temperaturas de gases de combustión que generalmente están entre 800 y 1450 °C.

### 3.3.3. Tecnologías de incineración:

**Incineración en horno de parrilla:** El horno de parrilla es un horno de incineración en el que los residuos se transportan mediante una estructura de forma variable. Asimismo, la parrilla tiene las siguientes funciones:

- Avance de los residuos: se consigue a partir del movimiento de la parrilla y su inclinación.
- Mezcla de los residuos: se consigue mediante el movimiento de cada uno de los elementos que forman la parrilla. Se produce un volteo y avance de los residuos facilitando su mezcla y homogeneización.
- Atizar la llama: el efecto del movimiento facilita la propagación de las brasas y con ello la aceleración de la combustión. Para conseguir una buena combustión, se debe asegurar una buena distribución del aire de incineración en el interior del horno. Los hornos de parrilla son muy flexibles en operación frente a combustibles heterogéneos, por lo que pueden tratar RSU, residuos industriales, lodos de depuradoras o residuos hospitalarios

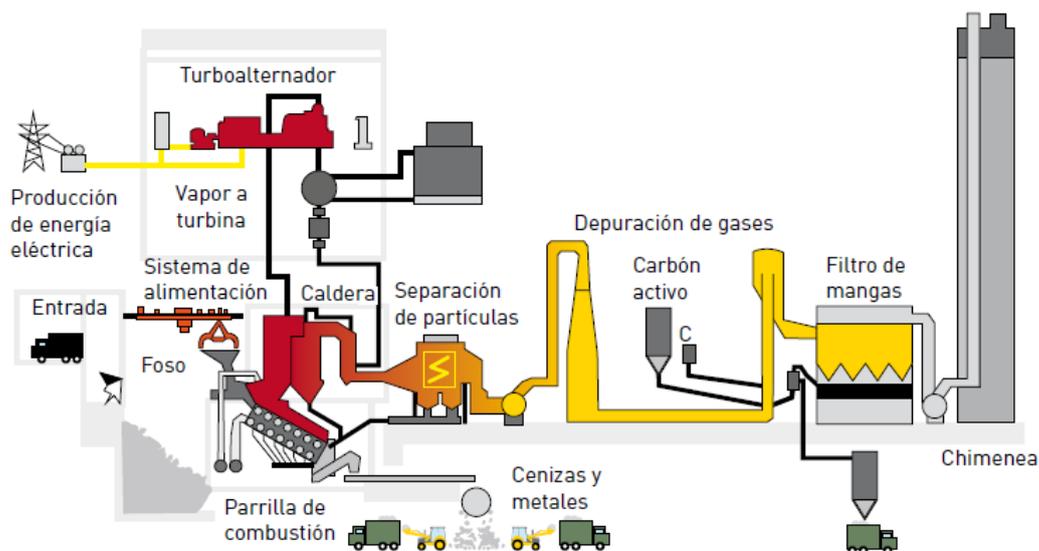
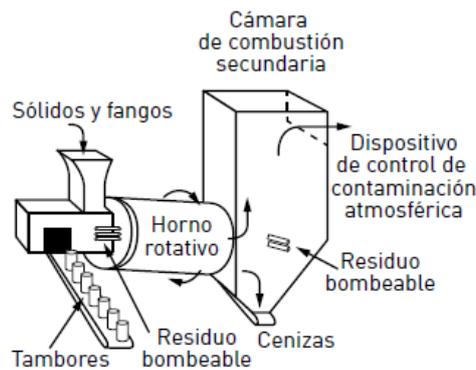


Figura 3 10 Instalacion con horno de parrilla Fuente: <https://es.scribd.com/document/102633721/Valorizacion-Energetica-de-Residuos-IDAE>

**INCINERACIÓN EN HORNO ROTATIVO:** El horno rotativo consiste en un cuerpo cilíndrico ligeramente inclinado en su eje horizontal. El cilindro está normalmente localizado sobre rodillos, permitiendo que el horno rote u oscile alrededor de su eje en un movimiento recíproco, de manera que el residuo se mueve a través del horno impulsado tanto por la gravedad como por la rotación. Al trabajar a temperaturas altas se tiene el riesgo de dañar el material refractario de las paredes del horno por estrés térmico, por lo que algunos hornos tienen una camisa refrigerada (por aire o agua), que ayuda a alargar la vida del material de las paredes, y disminuir el tiempo entre paradas producidas para el mantenimiento del horno.

El tiempo de residencia del material sólido en el horno se determina por el ángulo horizontal del cuerpo cilíndrico y la velocidad de rotación. Para conseguir una buena combustión de los residuos, se requiere un tiempo de residencia de entre 30 y 90 minutos. Al trabajar a temperaturas altas se tiene el riesgo de dañar el material refractario de las paredes del horno por estrés térmico, por lo que algunos hornos tienen una camisa refrigerada (por aire o agua), que ayuda a alargar la vida del material de las paredes, y disminuir el tiempo entre paradas producidas para el mantenimiento del horno.

En los hornos rotativos se puede incinerar prácticamente, cualquier residuo, independientemente de su tipo o composición. El pretratamiento aplicable consistiría en una trituración previa.



Fuente: Integrated Pollution Prevention and Control Referente Document on the Best Available Technique for Waste Incineration, 2006

Figura 3 11 Instalacion con horno rotativo Fuente: <https://es.scribd.com/document/102633721/Valorizacion-Energetica-de-Residuos-IDAE>

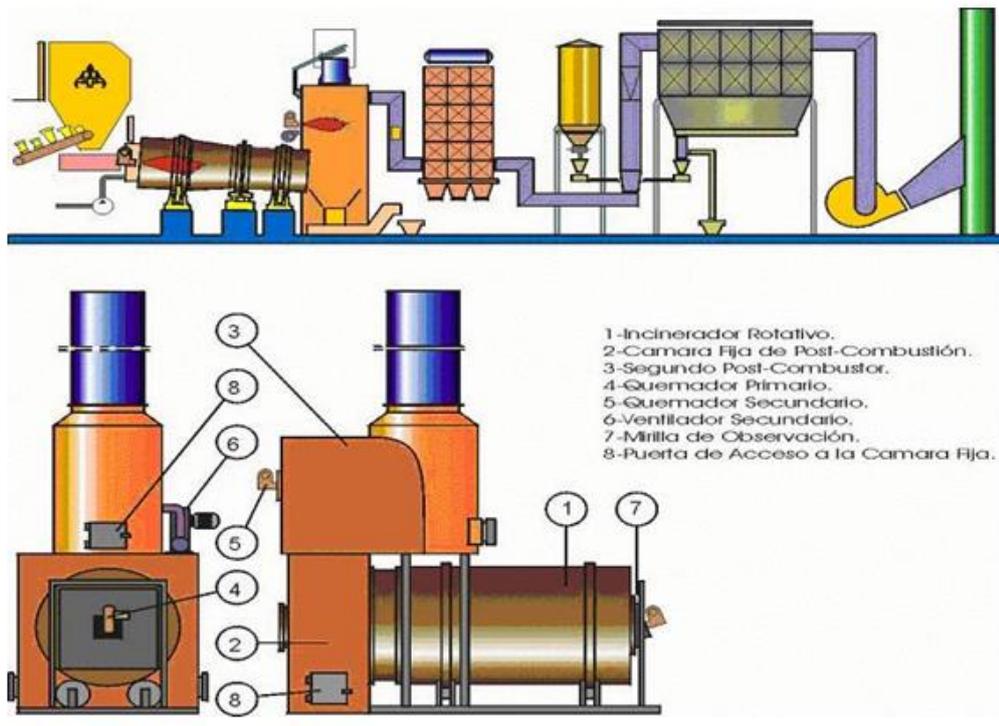
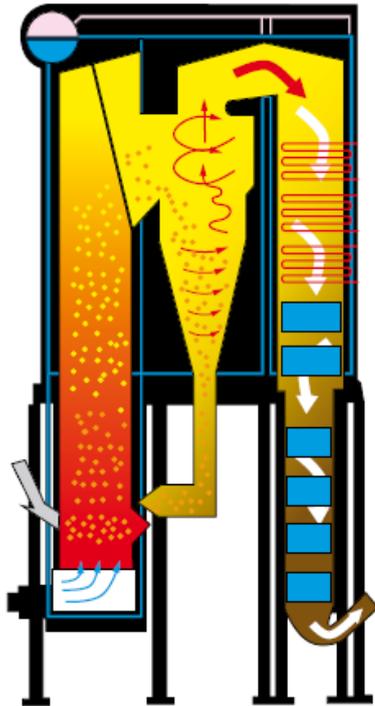


Figura 3 12 Esquema de horno rotativo. Fuente: <https://es.scribd.com/document/102633721/Valorizacion-Energetica-de-Residuos-IDAE>

**INCINERACIÓN EN HORNO DE LECHO FLUIDO:** Un horno de lecho fluidizado consiste en una cámara cilíndrica y vertical, cuya parte inferior contiene el material de lecho. Éste debe ser inerte, de tamaño pequeño y esférico y capaz de fluidizar en el momento en que se le introduzca el gas para tal finalidad; típicamente el material del lecho es arena o caliza.



Fuente: Kvaerner, Foster-Wheeler

Figura 3 13 Esquema de horno de lecho fluidizado. Fuente:

<https://es.scribd.com/document/102633721/Valorizacion-Energetica-de-Residuos-IDAE>

El aire usado en la fluidización, recibe el nombre de primario, y se introduce por la parte inferior del lecho. Aparte de fluidizar el lecho, actúa como comburente. El aire, denominado secundario, es el que se usa para la combustión completa de los gases.

Según el movimiento del lecho, se diferencian en:

- Lecho fluidizado burbujeante (BFB): se hace pasar aire por la parte inferior del horno a través de una placa de distribución hasta hacer burbujear el lecho manteniéndolo en suspensión. El residuo es aproximadamente el 2-3% en peso del lecho. Las cenizas volantes se arrastran con los gases de combustión y las escorias se recogen por la parte inferior del horno.
- Lecho fluidizado circulante (CFB): esta tecnología se desarrolló con la intención de mejorar el lecho burbujeante, y lograr una combustión más completa, conjuntamente con un mayor control sobre la temperatura. En este caso, la velocidad de aire a través del lecho aumenta, con lo que parte del material del lecho se arrastra con los gases de combustión.
- Lecho fluidizado "Revolving type": el objetivo de este diseño es el de mejorar el contacto de las partículas en el lecho, manteniéndolo en continuo movimiento. El lecho es del tipo BFB, en

el cual el aire se inyecta de forma no uniforme, creando zonas diferenciadas de paso de aire. Adicionalmente, se instalan unos deflectores en la zona inferior del lecho contra los que golpean los sólidos del lecho, resultando un movimiento circular de agitación. Las escorias se extraen por los laterales del lecho.

En el interior del lecho fluidizado, tiene lugar el secado, la volatilización, la ignición y la combustión de los residuos. Se produce un gradiente de temperaturas, de manera que, en la zona situada por encima del lecho, se dan temperaturas de entre 850 °C y 950 °C, permitiendo la retención de gases en la zona de combustión, mientras que en el interior del lecho la temperatura es menor, alrededor de los 650 °C.

Gracias a la capacidad del reactor de permitir una buena mezcla, los hornos de lecho fluidizado generalmente tienen una buena distribución de temperaturas y oxígeno, lo que concluye en una operación más estable.

Residuos más apropiados

En el caso del lecho fluidizado, los residuos tienen que cumplir unas ciertas especificaciones con respecto a tamaño, forma y composición. En general, los principales residuos aceptados por esta tecnología son:

- Residuos con ausencia o bajo contenido de materiales inertes y metales separados.
- Uso limitado para RSU directos.
- A menudo aplicado para lodos de depuradora o CDR/CSR

Los sistemas de incineración más empleados en función del tipo de residuo a tratar:

TIPO DE RESIDUOS	INYECCIÓN LÍQUIDA	HORNO ROTATIVO	LECHO FIJO	LECHO FLUIDIZADO	PARRILLA MÓVIL
<b>SOLIDOS</b>					
<i>Granular</i>		♦	♦	♦	♦
<i>Irregular</i>		♦	♦		♦
<i>bajo punto de fusión</i>	♦	♦	♦	♦	♦
<i>Compuestos Orgánicos</i>		♦	♦	♦	♦
<i>Materiales voluminosos</i>		♦	♦		
<b>LIQUIDOS</b>					
<i>Acuosos de alta carga orgánica.</i>	♦	♦	♦	♦	
<i>Orgánicos</i>	♦	♦	♦	♦	
<b>SOLIDOS/LIQUIDOS</b>					
<i>Con compuestos Org. halogenados</i>	♦	♦	♦		♦
<i>Lodos orgánicos acuosos</i>		♦		♦	

Figura 3 14 Sistemas de incineración empleados según naturaleza del residuo. Fuente <https://es.scribd.com/document/102633721/Valorizacion-Energetica-de-Residuos-IDAE>

### 3.3.4. Incineración de Residuos Peligrosos y control de la contaminación del Aire.

#### 3.3.4.1. Incineración de Residuos Peligrosos.

El sector de residuos peligrosos consta de dos subsectores principales:

**Plantas de incineración comerciales y Plantas de incineración específicas:**

. En la siguiente tabla se aprecian las características de cada sector:

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

<b>Criterio</b>	<b>Plantas comerciales</b>	<b>Plantas específicas</b>
<b>Propiedad</b>	Empresas privadas, municipios o consorcios	Normalmente empresas privadas
<b>Características de los residuos tratados</b>	Muy amplia gama de residuos El conocimiento de la composición exacta de los residuos puede ser limitado	Amplia gama de residuos Muchas veces son residuos de una sola empresa o incluso de un solo proceso. En general se tiene un mayor conocimiento de la composición de los residuos
<b>Tecnologías de combustión aplicadas</b>	Predominan hornos rotativos. Algunas tecnologías específicas para residuos específicos o con especificaciones restringidas	Hornos rotatorios más una gran variedad de técnicas específicas para residuos específicos o con especificaciones restringidas.
<b>Consideraciones operativas y de diseño</b>	Se requiere flexibilidad y amplio espectro de operación para asegurar un buen control del proceso	El proceso puede diseñarse de forma más detallada para una especificación más estrecha de la alimentación de residuos en algunos casos.
<b>Tratamiento de gases de combustión</b>	Normalmente se aplica lavado húmedo para dar flexibilidad así como, una combinación de técnicas de tratamiento de gases de combustión	Normalmente se aplica lavado húmedo para dar flexibilidad así como una combinación de técnica de tratamiento de gases de combustión.
<b>Consideraciones comerciales y de coste</b>	Los operadores suelen competir en un mercado abierto. Algunas plantas se benefician de políticas nacionales/regionales relativas al destino de residuos producidos en este país/región. El movimiento de residuos peligroso en la UE está regulado por la normativa sobre el traslado transfronterizo, que limita el ámbito del mercado global abierto.	Competencia más limitada o en algunos casos inexistente. Los usuarios suelen tolerar mayores costos de eliminación en algunos casos por motivos de política del productor de residuos o eliminación interno.

*Figura 3 15 Características de las plantas comerciales/específicas. Fuen: Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos*

En los países industrializados, el horno rotatorio es el más usado como tecnología de preferencia para la incineración de residuos peligrosos. Una de las principales razones es su robustez. Un incinerador de residuos peligrosos de este tipo está constituido por las siguientes unidades:

- Medición del volumen e inspección de la entrada
- Almacenamiento temporal de los residuos y los recursos de equipos
- Pretratamiento de residuos
- Instalaciones de carga / alimentación
- Instalaciones de incineración
- Generación de energía
- Tratamiento de gases de escape y chimenea
- Tratamiento y descarga de aguas residuales
- Almacenamiento de cenizas, escorias, etc.
- Instalaciones de Infraestructura

Los procedimientos exactos requeridos para la aceptación y almacenamiento de residuos dependen de las características químicas y físicas de los residuos.

#### **Identificación y análisis de residuos**

Para cada tipo de residuo peligroso, se presenta una declaración de la naturaleza del residuo redactada por el productor del residuo, de forma que el gestor de residuos pueda decidir si es posible el tratamiento de cada tipo específico de residuo.

Algunos tipos de residuos precisan medidas alternativas. Los residuos homogéneos y de producción específica se describen adecuadamente. A veces se requieren medidas adicionales para residuos de composición menos conocida (ej. residuos de vertederos o de la recogida de residuos domésticos peligrosos), como la investigación de cada contenedor de residuos individual.

Cuando la composición del residuo no pueda conocerse en detalle (ej. pequeñas cantidades de pesticidas o agentes químicos de laboratorios), la empresa de gestión de residuos puede acordar con el productor del residuo requisitos específicos de embalaje para que el residuo no

reaccione durante el transporte, al ser aceptado para su incineración, o dentro de los contenedores.

Los residuos suministrados se someten a controles específicos de admisión. Tras la comparación de las características del residuo, mediante investigaciones visuales y analíticas, con los datos contenidos en la declaración, el residuo es aceptado y asignado a la zona de almacenamiento, o rechazado en caso de discrepancias.

La zona de entrada debe disponer de una báscula para pesar y así conocer la cantidad de residuos.

Además, es necesario realizar inspecciones de los residuos que llegan a la entrada. Se debe disponer de elementos que permiten al personal inspeccionar la superficie de carga del camión y también tomar muestras de forma segura, sin tener que escalar mucho. Es necesario contar con espacio para la espera de varios camiones y almacenamiento, por fuera de la planta misma. Esto es necesario para denegar el paso a los vehículos, hasta que se hayan resuelto las anomalías u otros asuntos pendientes.

El funcionamiento de un incinerador de residuos peligrosos debe contar allí mismo con la asistencia de un laboratorio cualificado. El laboratorio trabaja coordinadamente con los inspectores de entrada.

El laboratorio hará una inspección de los residuos entrantes mediante un análisis inicial. En el caso de entregas recurrentes el laboratorio deberá verificar la conformidad de la entrega con la calidad conocida de los residuos (análisis de conformidad). El laboratorio desempeña un papel importante para el diseño de los menús de desecho y el horario de incineración. Además, el laboratorio puede participar en el asesoramiento a clientes.

#### **Almacenamiento:**

Los residuos entrantes pueden variar respecto de su naturaleza física y química. La masa de flujos de residuos puede ser líquida, pastosa o incluso sólida. A menudo, la entrega está determinada por residuos sólidos, con una participación del 40%, mientras los pastosos (35%) y los líquidos (25%). Por tanto, se debe disponer de suficiente espacio de almacenamiento para los tres tipos de residuos. Se necesita espacio extra para el tratamiento y técnicas de aplicación que se requieren.

En general, es irregular la entrega de los diferentes tipos de residuos. Por ello hay que mantener un volumen suficiente de almacenamiento. En algunos casos, también puede ser necesario almacenar residuos temporalmente, a la espera de los resultados de laboratorio.

En general, el almacenamiento de residuos debe contar con la incertidumbre respecto a la naturaleza y composición de los residuos.

Una práctica común es asegurar, que los residuos peligrosos se almacenen en los mismos envases (bidones) utilizados para el transporte, evitando con ello la necesidad de manejo y traslado adicional. Una buena comunicación entre el productor y el gestor de residuos ayuda a asegurar que los residuos se almacenen, trasladen, etc. en un modo que permita un buen control de los riesgos existentes. Es también importante que sólo se almacenen residuos bien caracterizados y compatibles en depósitos o búnkeres.

La evaluación de los residuos es un elemento esencial en la selección de las opciones de almacenamiento y carga. Algunos aspectos a tener en cuenta son:

Para el almacenamiento de residuos sólidos peligrosos, muchas incineradoras están equipadas con un búnker (de 500 a 2000 m<sup>3</sup>) desde el que el residuo es alimentado a la instalación mediante grúas o tolvas.

- **Los residuos líquidos y lodos peligrosos se suelen almacenar en un parque de tanques.** Algunos tanques disponen de almacenamiento bajo una atmósfera inerte (ej. N<sub>2</sub>). El residuo líquido es bombeado a través de conducciones al horno rotativo y/o la cámara de postcombustión (CPC). Los lodos pueden ser alimentados a hornos rotativos mediante bombas especiales para «materias viscosas».

- Algunas incineradoras pueden alimentar determinadas sustancias, como líquidos tóxicos, olorosos, reactivos y corrosivos, mediante un dispositivo de inyección directa, directamente desde el envase de transporte al horno o CPC.

- Casi la mitad de las incineradoras comerciales en Europa están equipadas con cintas transportadoras y elevadoras para transportar e introducir los bidones y/o envases pequeños (ej. paquetes de laboratorios). Éstas pueden ir a través de sistemas estancos, o utilizar sistemas de inmersión en gas inerte.

#### **Almacenamiento de residuos peligrosos:**

Los residuos peligrosos sólidos y pastosos, que no pueden ser bombeados, que no han sido desengrasados y no huelen, se almacenan temporalmente en búnkeres. Las zonas de

almacenamiento y mezcla estarán separadas en el búnker. Esto puede lograrse a través de un diseño en varias secciones. La alimentación de productos sólidos y pastosos se realiza con grúas. El búnker debe estar diseñado de modo que se eviten las emisiones al suelo.

El búnker y el almacenamiento de envases deben ser estancos a menos que existan motivos de salud y seguridad (peligro de explosión e incendio). El aire del búnker se suele extraer y utilizar como aire para la incineración. Para prevenir posibles incendios, se utilizan sistemas de vigilancia como cámaras detectoras de calor, además de la monitorización constante por parte del personal (sala de control operativo de la grúa).

### **Almacenamiento de residuos peligrosos bombeables**

Grandes cantidades de residuos líquidos y pastosos bombeables se almacenan temporalmente en tanques disponibles en número y tamaño suficiente para albergar los líquidos reactivos por separado (peligro de explosión o polimerización).

Los tanques, conductos, válvulas y juntas deben estar adaptados a las características del residuo por lo que respecta a construcción, selección de materiales y diseño. Deben ser resistentes a la corrosión y ofrecer la opción de limpieza y toma de muestras. Los tanques de fondo plano suelen utilizarse para grandes cargas.

Puede ser necesario homogeneizar el contenido del tanque con agitadores mecánicos o hidráulicos. Según las características del residuo, los tanques deben calentarse indirectamente y aislarse. Los tanques se montan en estanques de contención que deben estar diseñados para el material almacenado, con volúmenes de recinto escogidos para poder contener los residuos líquidos en caso de fuga.

### **Almacenamiento de envases y depósitos contenedores**

Por seguridad, los residuos peligrosos se suelen almacenar en envases especiales. Estos envases son luego suministrados a la planta de incineración. También se sirven los líquidos a granel.

Los envases suministrados pueden almacenarse, o transferirse. En algunos casos, según una evaluación de riesgo, el residuo puede inyectarse directamente en el horno a través de un conducto separado. Pueden usarse líneas de transferencia calentadas para residuos que sólo sean líquidos a temperaturas elevadas. Las zonas de almacenamiento para envases y depósitos contenedores están situados en el exterior, con o sin techo. El desagüe de estas zonas suele controlarse, ya que puede generarse contaminación.

### **Alimentación y pretratamiento:**

En las plantas de tratamiento de residuos peligrosos, en lo que respecta a el pre-acondicionamiento de los residuos, el marco de condicionamiento obliga a los productores de residuos a ocuparse del tratamiento previo. En determinados casos podría ser necesaria la mezcla de residuos o la separación de elevados contenidos de agua, A menudo no es fácil para las empresas pequeñas llevar a cabo el acondicionamiento necesario (como, por ejemplo, las estaciones de servicio en el caso de separadores de aceite). Las plantas de tratamiento fisicoquímico (CPB) ofrecen su servicio. Si estas no se encuentran en el mercado, la planta de tratamiento de residuos peligrosos misma puede prolongar su servicio para prestar y ofrecer a los productores de residuos tratamientos físico químicos previos, en caso de que esté equipada para este fin.

El establecimiento de entradas con puertas cerradas eléctricamente garantiza que el contenido liberado no entre en contacto con el aire exterior.

Además del quemador operado con combustibles convencionales, tales como aceite o gas, en el lado delantero se montan lanzas para introducir los residuos pastosos y líquidos.

Cuando se introducen barriles llenos se ha demostrado que se ha de limitar la masa a 50 kg, con el fin de alcanzar bien los altos valores caloríficos cuando el calor se está liberando desde los desechos.

Debido a las especificaciones químicas y físicas de algunos residuos peligrosos, pueden aparecer dificultades en el proceso de incineración. Debido a esto, suele aplicarse un cierto grado de mezcla o tratamiento específico del residuo con el fin de aumentar el número de cargas.

También es necesario desarrollar condiciones de aceptación para cada instalación. Los mismos deben describir el rango de concentraciones dentro del cual se mantienen las características químicas y de combustión claves del residuo, para asegurar que el proceso funcione de forma predecible, evitar sobrepasar la capacidad del proceso, y por lo tanto cumplir con los requisitos operativos y ambientales (es decir, las condiciones del permiso).

### **Tratamiento de Aguas residuales.**

, La manera como un incinerador de residuos peligrosos se equipa con instalaciones de tratamiento de aguas residuales depende de la carga de los residuos. El equipo de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales depende de la carga de aguas residuales en

bruto y de los valores de efluentes que hay que conseguir después de pasar a través de la planta de clarificación. El aspecto de los costos de la trayectoria del agua no es tan alto, porque en comparación con el control de las emisiones de aire la inversión de tratamiento de aguas residuales suele ser más bajo.

En el proceso de la incineración se acumulan escoria, cenizas volantes y residuos de limpieza de gases de combustión. Al diseñar una planta especial de incineración de residuos se deben tener en cuenta instalaciones de almacenamiento provisional, para proporcionar capacidad suficiente de almacenamiento. Después de un tratamiento mecánico, la escoria se puede reciclar, en la construcción de carreteras o como terraplén, para la construcción de paredes, etc. Las cenizas y residuos de gases de combustión con sustancias contaminantes son los desechos peligrosos que deben ir a rellenos sanitarios. Puede ocurrir que haya retrasos en el reciclado o eliminación de material de desecho. También podría pasar que un viejo cliente y comprador de material de desecho abandone el negocio. Hay que tomarse el tiempo para buscar y analizar un nuevo comprador. Por lo tanto, es conveniente disponer de instalaciones de almacenamiento provisional suficientes en los propios terrenos (para un mínimo de 6 meses).

#### **Instalaciones de infraestructura**

En la planificación no suele tenerse muy en cuenta la infraestructura del tipo de carreteras, y también la infraestructura de suministros. Si se piensa en instalaciones de servicios públicos es necesario tener en cuenta la redundancia. Si un canal de suministro falla, el operador debería poder asegurar que el suministro continuará por medio de una segunda opción (generadores de emergencia, etc.)

#### **Problemas de funcionamiento:**

Los problemas operativos más comunes se producen principalmente antes de la combustión real de los residuos peligrosos. La composición de los residuos en los menús es uno de los mayores problemas. Si se combinan mal entre sí los residuos de alto valor calórico y los de un más bien bajo valor calórico, los sólidos y los líquidos, los problemáticos y la menos problemática, los tiempos de ejecución del horno rotatorio pueden ser mucho más cortos. O puede aumentar tanto el uso requerido de combustibles fósiles que no se pueda garantizar un funcionamiento económicamente óptimo de la planta.

### 3.3.4.2. CCAA. Control de la contaminación del Aire en la Incineración de residuos peligrosos. Equipos, Sistemas de control de emisiones y limpieza en Incineración de residuos peligrosos.

Las propiedades físico-químicas de los lodos secos previo a su incineración se especifican en las siguientes tablas:

	Lodos secos
Peso específico	1,64 – 1,72
Humedad (%)	50,0 – 70,0
Densidad (T/m <sup>3</sup> )	0,5-0,6
Pérdida al fuego (%)	57,2 – 60,8
Valor de pH	8,10 – 5,50
Residuo del tamiz 180 µm (%)	4-5
Residuo del tamiz 90 µm (%)	80-99,6

Figura 3 16 Propiedades fisico-quimicas de los lodos secos. Fuente:Cedex 2013

	Lodos secos
Ca (%)	11-13
Si (%)	1,3-2,1
Fe (%)	1,7-3,2
Mg (%)	0,7-0,9
Na (%)	0,1-0,22
K (%)	0,1-0,17
P (%)	0,8-1,2

Figura 3 17 Propiedades fisico-quimicas de los lodos secos.. Fuente:Cedex 2013

Tras el proceso de incineración, la composición de los humos se presenta en la siguiente tabla

Componente	Unidades	Composición
O <sub>2</sub>	%	3 - 6
CO <sub>2</sub>	%	6 - 10
N <sub>2</sub>	%	45 - 55
H <sub>2</sub> O	%	35 - 50
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	500 - 1500
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	50 - 400
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	5 - 50
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	100 - 200
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	0 - 6
partículas	mg/Nm <sup>3</sup>	20 000 - 50 000

Figura 3 18. Composición de los humos. Fuente [www.veoliawatertechnologies.es/](http://www.veoliawatertechnologies.es/)

Los NO<sub>x</sub> y el CO se controlan con una buena operación del horno (Tlecho < 800 °C y O<sub>2</sub> > 6,5 % en salida de chimenea respectivamente) • Dioxinas y furanos (organoclorados) destruidos a altas temperaturas con valores de emisión un orden de magnitud menos que el límite legal permitidos. • Metales presentes en los lodos incinerados, excepto el mercurio, quedan retenidos en un % muy elevado en las cenizas.

#### CCAA1.- SISTEMAS DE ELIMINACIÓN DE POLVO. FILTRO DE POLVO

La separación de polvo es el componente más importante del control de emisiones. La separación puede realizarse por un solo filtro o en varias etapas. Esto depende del rendimiento deseado y del concepto de control de emisiones. El concepto también incluye la definición de la temperatura a la que ha de tener lugar la filtración de polvo. Otro tema es también si la ventana de temperatura en la que está teniendo lugar la formación de dioxinas (nueva síntesis de 250° - 400° C) se debe pasar lo más rápidamente posible o no.

Son considerados filtros de polvo: los filtros de ciclón, los precipitadores electrostáticos y los filtros de tela. Además, el polvo que hay en el sistema de escape puede también ser depositado mediante etapas de limpieza integradas, si es necesario.

### CCAA1.1.-Filtro de ciclón:

El filtro de ciclón para la separación de polvo funciona como un filtro de gravedad. Se fuerza el gas de escape que ha de ser purificado a entrar en el filtro, o es aspirado a través del filtro. Debido a la geometría estructural del filtro, el gas de escape pasa a la fuerza a lo largo de la pared de filtro en una órbita helicoidal. Esto disminuye la velocidad de flujo. Simultáneamente las partículas de polvo transportadas son presionadas contra la pared del filtro a través de la corriente de escape. Desde allí, se deslizan hacia abajo y caen a la parte inferior del filtro, desde donde son removidas después. El gas de escape purificado abandona el sistema por un tubo de salida en la parte superior del filtro.

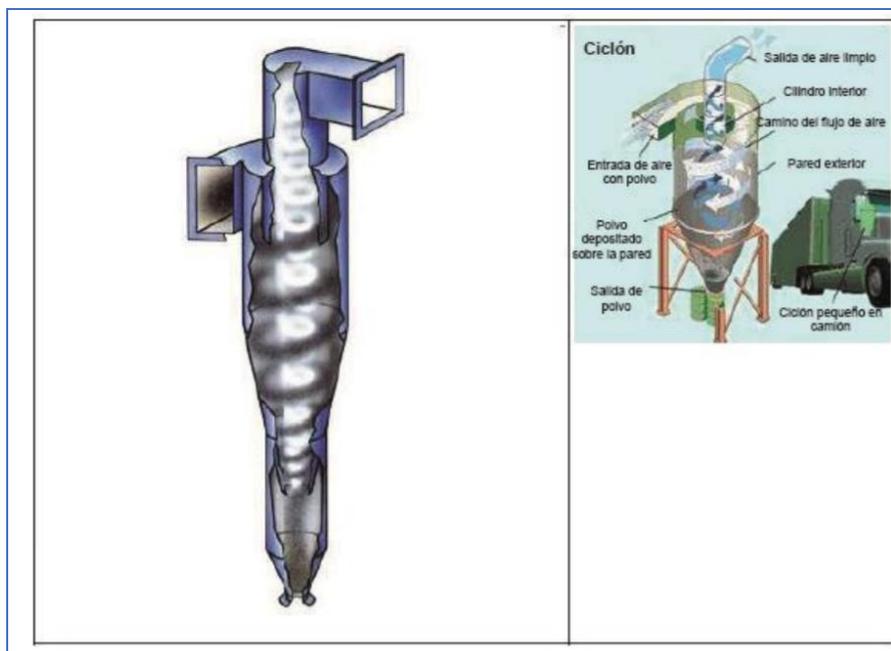


Figura 3 19 Esquema de filtro de ciclón. Fuente: [http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit\\_Spanish/Todos\\_los\\_m%C3%B3dulos/MGRP\\_Modulo\\_6a\\_2311.pdf](http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit_Spanish/Todos_los_m%C3%B3dulos/MGRP_Modulo_6a_2311.pdf)

El filtro de ciclón es muy robusto y puede usarse con una gama amplia de temperaturas de hasta 450°C. Su desventaja principal es que no puede depositar polvo fino. El potencial de depósito de los ciclones a menudo termina con partículas de un tamaño de menos de 5 micras (m). Por tanto, los filtros de ciclón, en el campo de la incineración de desechos peligrosos, deben utilizarse solo en el pre-desempolvado y en combinación con otros filtros de polvo. Los filtros de ciclón, en comparación con los eléctricos y los filtros de tela, son una solución más económica, tanto en el costo de capital como en el de operación.

**CCAA1.2.-Precipitador electrostático:**

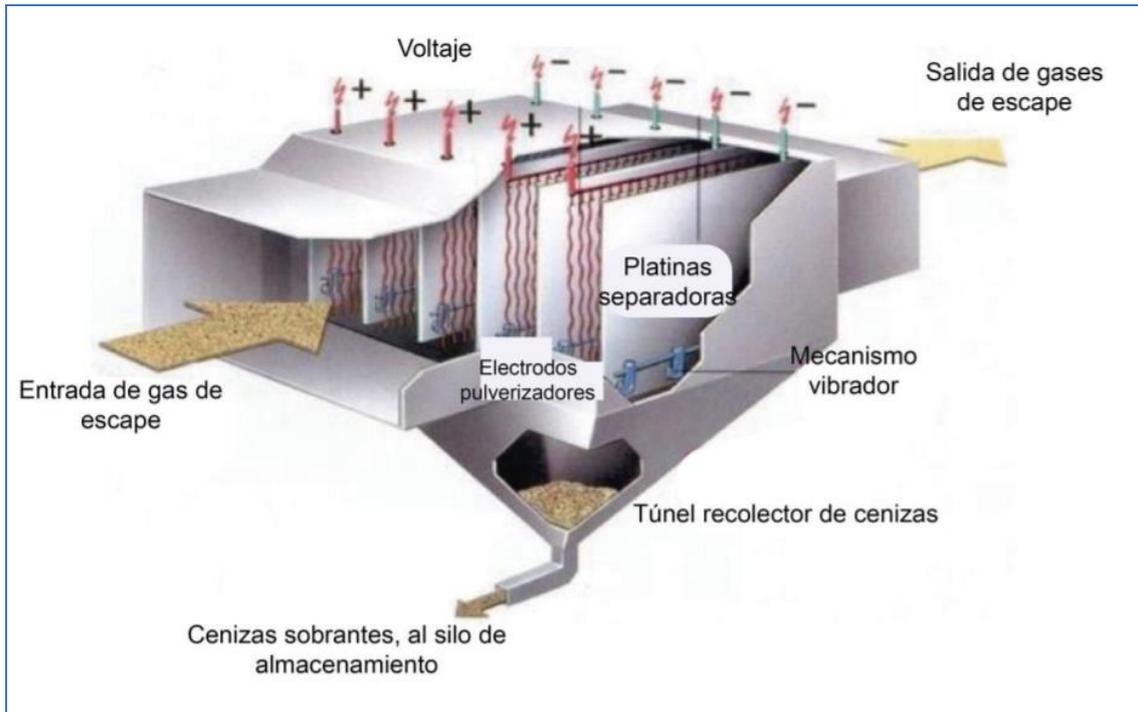


Figura 3 20 Esquema de precipitador electroestatico. Fuente: [http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit\\_Spanish/Todos\\_los\\_m%C3%B3dulos/MGRP\\_Modulo\\_6a\\_2311.pdf](http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit_Spanish/Todos_los_m%C3%B3dulos/MGRP_Modulo_6a_2311.pdf)

El precipitador electrostático es un sistema de filtración ampliamente utilizado, que también se usa por fuera de la industria de gestión de residuos y en la industria de la energía. También cuenta con una alta eficiencia de separación para material particulado menor de 5 micras ( $\mu\text{m}$ ).

Se aplica un muy alto voltaje eléctrico entre dos polos. El electrodo negativo presenta los electrones que se depositan en la superficie y "quedan confinados", a las moléculas de gas que fluye. Esto da por resultado un gas ionizado. Las moléculas de gas siguen presentando electrones a las partículas de polvo, por lo que se cargan negativamente. Las partículas de polvo cargadas son atraídas hacia el electrodo de carga positiva y se depositan allí a la superficie. Cuando se alcanza un cierto espesor, debido a la gravedad, la capa de polvo cae hacia abajo, donde se recoge el polvo y se descarga.

La ventaja del precipitador electrostático es la capacidad de ser utilizado en una amplia gama de temperaturas (incluso a temperaturas más altas, de hasta  $450^{\circ}\text{C}$ ). Por otra parte, también para partículas finas de hasta 1 micra ( $\mu\text{m}$ ) se da una buena tasa de retención. Los

precipitadores electrostáticos, si se comparan con el filtro de ciclón, son más caros, si se comparan con el filtro de tela, son la opción más barata.

### CCAA1.3.- Filtros de tela:

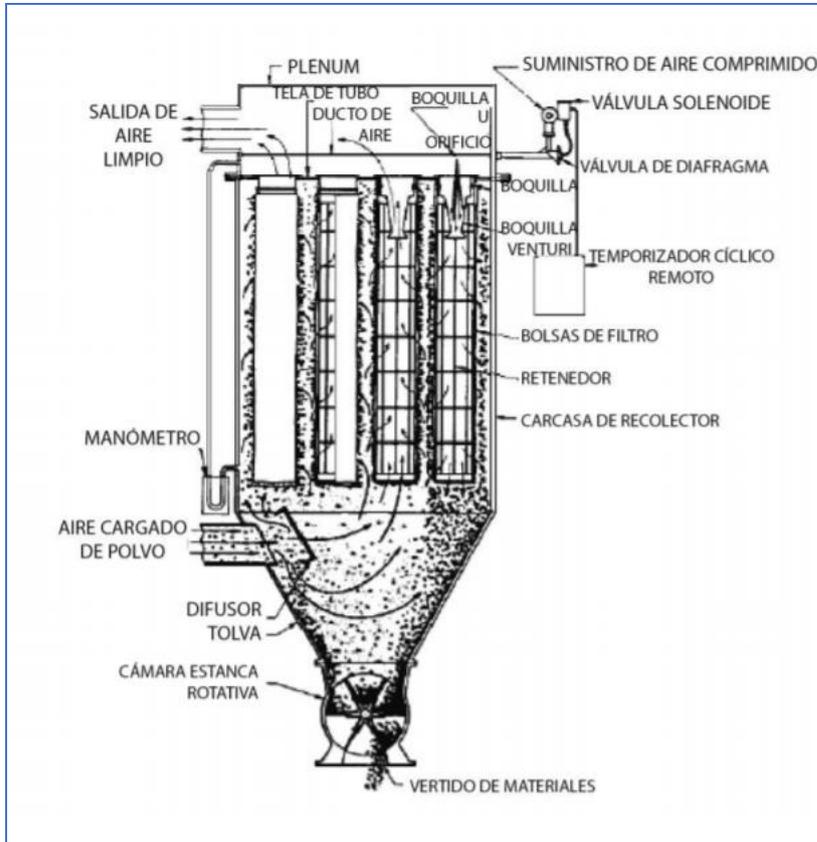


Figura 3 21. Esquema de filtro de tela. Fuente: [http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit\\_Spanish/Todos\\_los\\_m%C3%B3dulos/MGRP\\_Modulo\\_6a\\_2311.pdf](http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit_Spanish/Todos_los_m%C3%B3dulos/MGRP_Modulo_6a_2311.pdf)

El principio de funcionamiento del filtro de tela (filtro de manga) es la separación mecánica de las partículas de polvo sobre un tejido. La malla puede variar de tamaño, dependiendo del tipo de tejido. Las partículas que son más grandes que el tamaño de la malla permanecen sobre la tela. Por tanto, se crea una capa de polvo en un tiempo relativamente corto, que está en constante crecimiento. En esta condición, el tejido en sí ya no tiene efecto alguno, pero la capa de polvo sobre la tela (torta de filtro) obra como filtro.

La tela suele estar hecha de un plástico (polímeros per fluorados). Aunque suele utilizarse un plástico resistente a la temperatura, la tela de filtro no se utiliza en el rango superior de temperatura (por encima de los 260° C). El filtro de tela tiene la máxima eficiencia de filtración y también filtra partículas ultrafinas (de cerca de 0.5µm). La desventaja consiste en que el filtro

de tela es más costoso para la separación del polvo, tanto con respecto a los costos de inversión como a los de operación.

## **CCAA2.-SISTEMAS O PROCESOS DE LIMPIEZA DEL GAS**

### **Proceso de limpieza de gas:**

Los gases de escape de los residuos o de los incineradores de residuos peligrosos presentan altas concentraciones de gases ácidos contaminantes en el gas crudo. El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), especialmente el cloruro de hidrógeno ( $\text{HCl}$ ) y el fluoruro de hidrógeno ( $\text{HF}$ ) son importantes. Entre otras cosas, la entrada de cloro se debe al plástico PVC, que aparece en muchos productos, y en la incineración de residuos especiales también entra a través de sustancias orgánicas cloradas, tales como disolventes clorados. El flúor también entra debido a plásticos (PTFE –politetrafluoroetileno- o Teflón). O en algunos casos debido a propelentes (por ejemplo, refrigerantes de unidades viejas de refrigeración).

Los contaminantes ácidos en los gases de escape se distribuyen finamente (disuelven). Dentro del control de emisiones se están estableciendo tres principios de proceso para separar estos componentes de los gases de escape:

- Seco
- Húmedo
- Semi-seco

Todos los procesos utilizan un aditivo químico (absorbente), que se une a los ácidos por una reacción química. A menudo se utilizan la creta  $-\text{CaCO}_3-$  o la creta hidratada  $-\text{Ca}(\text{OH})_2$ . El calcio como una parte integral forma las sales correspondientes con estos ácidos (por ejemplo, sulfato de calcio  $\text{CaSO}_4$  y cloruro de calcio  $\text{CaCl}_2$ ), que se pueden depositar luego.

### **. Limpieza de gases en seco:**

En el método seco, el sorbente con un muy fino tamaño de grano se pulveriza en la corriente de escape y se suma a los ácidos. Después, el polvo sorbente cargado se ha de separar de nuevo utilizando un filtro de tela. El sorbente puede ser utilizado múltiples veces hasta que se agota químicamente.

### **Limpieza húmeda de gases:**

Al usar el método húmedo, el sorbente se disuelve en agua. La solución de limpieza es inyectada entonces en la corriente de escape, donde las finas gotitas sorbentes pueden reaccionar con los ácidos. El agua de limpieza es preparada y puesta en circulación. Como parte del tratamiento se produce una solución de limpieza, que se debe desechar. Este método es más eficaz cuando el líquido de limpieza se pone en el máximo contacto posible con el gas de escape. De aquí que se encuentren muy variadas construcciones de depuradores en el mercado. Todos estos sistemas tienen desventajas y ventajas.

En los incineradores de residuos los sistemas depuradores de dos etapas no son raros. En la etapa primera (ácida) se deposita en especial HCl, mientras que, en el segundo nivel, alcalino o casi neutro, puede tener lugar el depósito de SO<sub>2</sub>

La purificación húmeda de gases de escape generalmente da por resultado concentraciones residuales menores en el gas de escape que el método seco de limpieza de gas. La mayor pega de la limpieza húmeda de gases de combustión es la producción de unas aguas residuales altamente salinas, que son difíciles de eliminar (0,2 a 0,5 m<sup>3</sup>por tonelada de residuos incinerados).

**. Limpieza semiseca:**

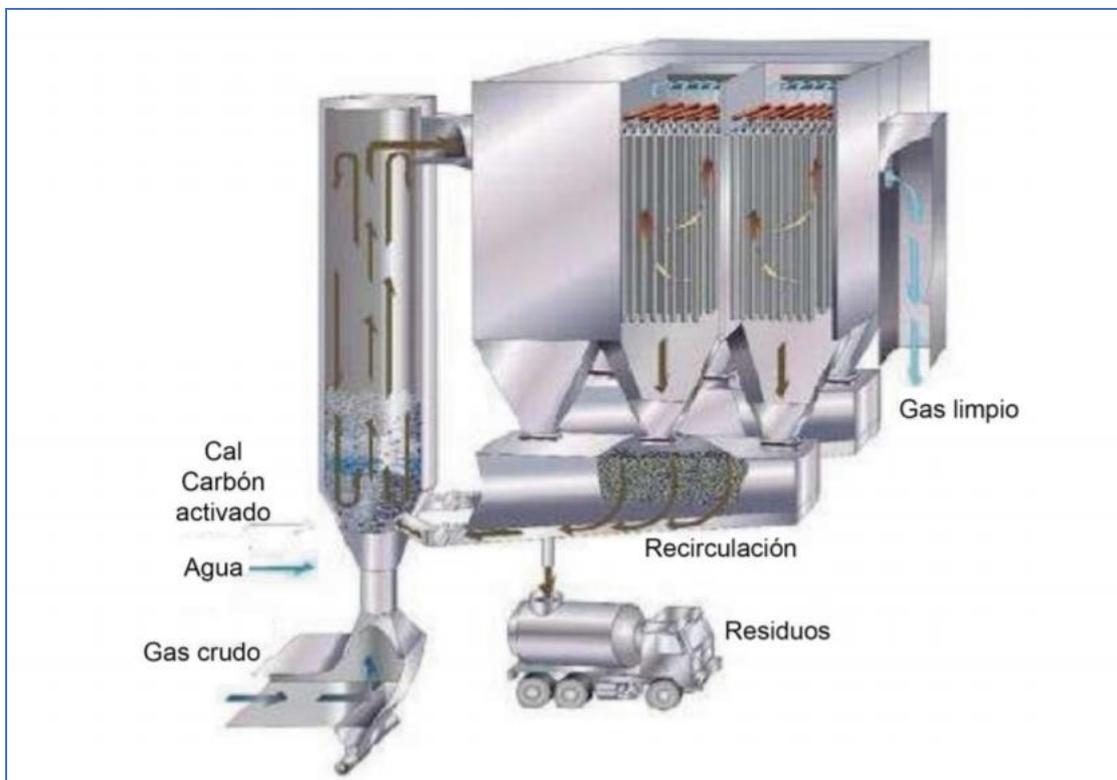


Figura 3 22 Esquema de limpieza semiseca. Fuente: [http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit\\_Spanish/Todos\\_los\\_m%C3%B3dulos/MGRP\\_Modulo\\_6a\\_2311.pdf](http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit_Spanish/Todos_los_m%C3%B3dulos/MGRP_Modulo_6a_2311.pdf)

Debido a las desventajas de los otros métodos, se ha desarrollado la limpieza semi-seca de gases de combustión, un método que incluye la ventaja del método húmedo (alta eficiencia de separación) y las ventajas del proceso en seco (no deja agua residual). Después de la limpieza del gas de combustión húmedo el líquido de limpieza gastado se seca en la corriente de escape. Las gotitas se convierten en pequeños cristales de sal, que luego pueden ser separados mediante un filtro de polvo.

Queda patente que el depurador opera con agua en la parte inferior. La cal aditiva se disuelve en pequeñas gotitas de agua. En el transcurso de la circulación en el depurador, el agua se evapora y cristales de sal se forman, que se separan en el filtro de tela.

En el tratamiento de los gases de escape de las plantas de incineración de residuos se combinan varios elementos filtrantes.

#### **Tecnología de carbón activado / flujo de aire de proceso:**

Una característica especial del control de emisiones mediante el uso de sorbentes es la adición de carbón activado en polvo muy fino. El carbón activado actúa como sorbente de las dioxinas, y también del Mercurio. El carbón activado posee una alta porosidad y un área de superficie grande y es por tanto particularmente adecuado para la adsorción de contaminantes.

La inyección de sorbentes es conocido como proceso de flujo arrastrado (flujo de aire de proceso). El carbón activado puede ser inyectado en diferentes elementos dentro de todo el proceso de control de emisiones (por ej. en los filtros de polvo) y en diferentes formas.

Los actuales valores europeos límite para dioxinas y furanos son de  $0,1\text{ngTE}/\text{m}^3$  ( 0,1 nanogramos total emisiones de dioxinas + furanos por  $\text{m}^3$  de aire). En la práctica, los reactores de lecho fijo no se han impuesto debido a sus altos costos y riesgos operativos (tal como el fuego latente). Se ha impuesto en especial el proceso de flujo arrastrado. Sin embargo, al usar el proceso de flujo arrastrado con sorbentes de carbono hay que destacar aspectos de seguridad (protección contra incendios y explosiones) .

La técnica para eliminar el mercurio depende del concepto de control de emisiones elegido. Son aditivos comunes los compuestos de azufre, que forman compuestos difíciles de absorber con el mercurio oxidado en la cámara de combustión, que luego pueden ser separados.

En una limpieza de gases de combustión seca o semi-seca se puede utilizar igualmente carbón activado, como se usa en un proceso de flujo arrastrado, para separar el mercurio. Para

aumentar el depósito, se puede emplear carbono activado impregnado con compuestos de azufre.

A altas temperaturas el nitrógeno y el oxígeno del aire forman compuestos de óxido de nitrógeno. Por tanto, cualquier combustión está asociada con la formación de estos compuestos. Debido a los volúmenes producidos, de entre los diversos óxidos de nitrógeno se deben tener en cuenta el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Se los conoce colectivamente como NO<sub>x</sub> u óxidos de nitrógeno. Las concentraciones de estos compuestos son relativamente bajas en las temperaturas usuales de 1.000° a 1.500° C en la incineración de residuos peligrosos. Si los combustibles contienen compuestos orgánicos de nitrógeno, aumenta la concentración de óxidos de nitrógeno en el gas crudo. Puesto que este es el caso por regla general, es necesario que las plantas de incineración de residuos reduzcan los óxidos de nitrógeno formados. Para este propósito se utilizan dos métodos principales en el control de emisiones: La SCR y el Proceso SNCR. Ambos procesos operan a través de una reacción química; un agente reductor añadido, tal como el amoníaco o la urea, se convierte en forma de una reacción redox, de modo que los óxidos de nitrógeno y el agente reductor reaccionan a nitrógeno y agua, haciéndolos así inocuos. Esta reacción procede muy lentamente en las temperaturas imperantes (200° a 300° C).

**Proceso de SCR(Reducción catalítica selectiva):**

En el proceso de SCR la reacción descrita se acelera con la ayuda de un catalizador. El catalizador consiste en un material de soporte de cerámica, en el que se aplica el catalizador (titanio, vanadio u óxidos de tungsteno).

Según el tipo de catalizador, se debe llegar a una temperatura de escape de 300° a 450° C. Esta temperatura se ubica directamente detrás de la extracción de energía y delante de la separación del polvo (detrás del sobrecalentador, pero, de haberlo, posiblemente incluso antes del economizador). Utilizar el catalizador allí (mucho polvo) es energéticamente ventajoso, sin embargo, la elevada exposición al polvo daña el catalizador mecánica y químicamente (envenenamiento)

Por lo tanto, este circuito se elige raramente para la incineración de residuos, en especial en caso de altas concentraciones de polvo y envenenamiento del catalizador. En la gestión de residuos se utiliza con frecuencia el llamado circuito de polvo reducido en el que el reactor de SCR se encuentra al final de la limpieza de los gases de combustión, como último módulo antes del vertido a la chimenea. Este circuito aumenta la vida útil del catalizador, pero el gas de

escape deberá ser recalentado. Esto se realiza mediante el uso de un intercambiador de calor. Una vez que ha pasado a través del catalizador, el gas de escape calentado se enfría por medio del intercambiador de calor y esta energía se emplea para calentar el gas de escape de entrada que ha de ser purificado. A pesar del calor hay que reemplazar una cierta pérdida de energía mediante el ajuste en la cantidad de combustibles, lo que hace energéticamente desfavorable la disposición del reactor de SCR

La ventaja del proceso de SCR es su elevado éxito en la reducción. Los gases de escape pueden rebajarse de forma segura a valores por debajo de 50mg NO<sub>x</sub>/ m.

#### **Proceso SNCR(Reducción catalítica no selectiva)**

En el proceso SNCR, el agente reductor –como amoníaco o urea– se inyecta directamente en o después de la cámara de combustión, debido a un rango de temperatura favorable, de 900° a 1100° C. En esta área se da una velocidad de reacción suficientemente alta, y es por tanto posible renunciar al uso de un catalizador. Pero al mismo tiempo la formación secundaria de NO<sub>x</sub> procedente del agente reductor introducido no es destacable. La inyección del agente reductor se realiza por medio de lanzas directamente en la zona que se encuentra a la temperatura correspondiente. La inyección tiene que ser ejecutada de una manera tal que garantice la mejor combinación posible.

Para la incineración de residuos peligrosos, la inyección del agente reductor no tiene lugar en la cámara de combustión misma, ya que las temperaturas suelen ser demasiado altas. A lo sumo, hay una posibilidad para ello al final de la cámara de combustión secundaria. A veces la SNCR también se realiza en la región superior de la caldera

#### **Depósito de metales pesados:**

No hay módulos específicos en la limpieza del gas de combustión para el depósito de metales pesados (a excepción del mercurio). Los metales pesados están unidos principalmente al polvo. Por tanto, son depositados junto con el polvo y penetran en el filtro del polvo. Las cantidades residuales de metales pesados son separadas por medio de la etapa de depurado. Cuanto mejor sea el sistema de filtro para la remoción de polvo tanto mayor es su eficiencia de recolección y tanto mejor es este sistema para el depósito de metales pesados.

### **Rendimiento comparado de los módulos de control de emisiones:**

En general, los mejores sistemas tienen costos más altos, por lo que, en el ámbito del concepto global para la limpieza del gas de combustión, debe decidirse cuáles son los módulos que se van a utilizar.

Para los módulos mostrados se ofrecen diferentes opciones que deben considerarse cuando se esté planificando el concepto de eliminación de residuos peligrosos con una planta de incineración. Entre estas variantes quedan algunas diferencias significativas, tales como rendimiento, costos operacionales y mantenimiento.

Mientras la selección y combinación de componentes se puede incluir en el sistema de planificación, con tal que el futuro operador obre sobre la base de una detallada planificación, la selección de opciones técnicas para los módulos individuales solo podrá realizarse en el contexto de la propuesta específica.

### **Combinación de módulos**

Hay muy diferentes formas de combinar los módulos individuales en el sistema total de limpieza de gases de combustión. Además de los costos, se deben destacar los límites de emisión deseados. Las garantías requeridas de reducir la contaminación de los gases de escape son parte esencial de la concepción.

El cálculo exacto de costos para los elementos descritos de una limpieza de gases de combustión moderna es difícil por varias razones. Solo pueden hacerse con seriedad sobre la planificación detallada de la implementación de un incinerador de residuos peligrosos. Así, los costos exactos solo se pueden identificar dentro de un proyecto en particular.

Son posibles los cálculos aproximados, pero hay que considerarlos con cautela, porque no es posible que sean exactos. Dado que en los últimos años se han construido pocas plantas de incineración de residuos peligrosos en todo el mundo, también es difícil usar números reales para una estimación de costos. Por tanto, es necesario trabajar con datos más antiguos, lo que limita aún más la importancia de los datos de costos.

### 3.4. Eficiencia energética del proceso y su Marco legislativo. El factor clave del tratamiento de fangos -La energía.

La incineración de fangos en lecho fluido con recuperación de energía ( Iñaki del Campo) es un método ideal para garantizar la eficiencia energética del proceso sin necesidad de usar otros combustibles fósiles.

Para ello es necesario que se den dos condiciones, que los fangos deshidratados , tengan una sequedad mínima del 25% y una relación de 70% MV/MS con el fin de utilización de la energía interna de los fangos para eliminar completamente la materia orgánica y el agua.

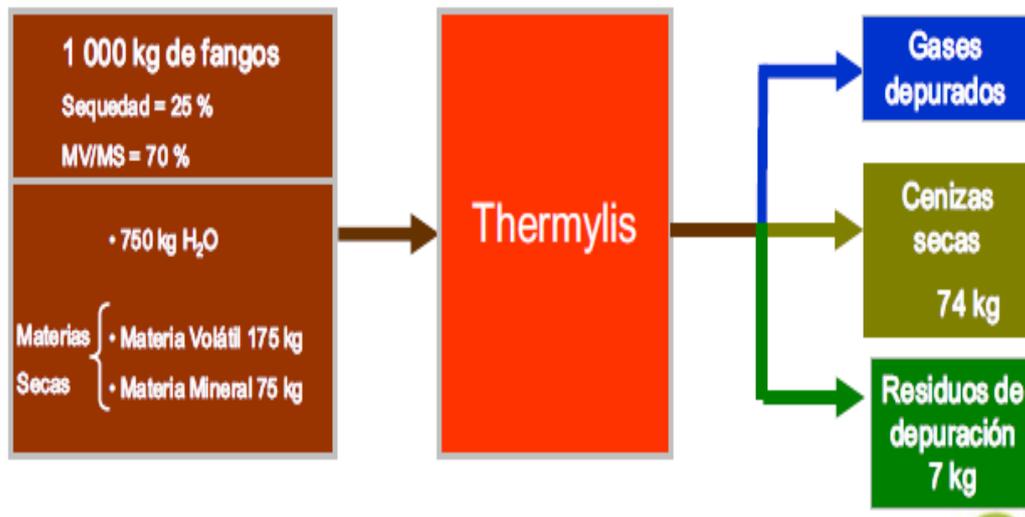


Figura 3 23 Principio de la incineración en lecho fluido Fuente :Iñaki del Campo

Para no usar energía adicional es necesario que se cumpla, el principio de autotermicidad de los fangos. Si la energía producida por la combustión del fango es igual a la Energía necesaria dentro del horno.

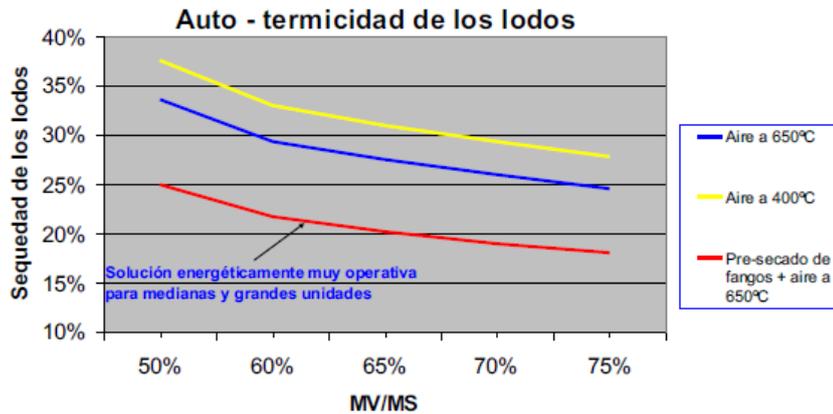


Figura 3 24 principio de autotermicidad de los fangos. Fuente :Iñaki del Campo

La recuperación de calor con el precalentamiento del aire de combustión permite evitar la utilización de combustibles fósiles de soporte, y la emisión de CO<sub>2</sub>(TECNOLOGIA VERDE)

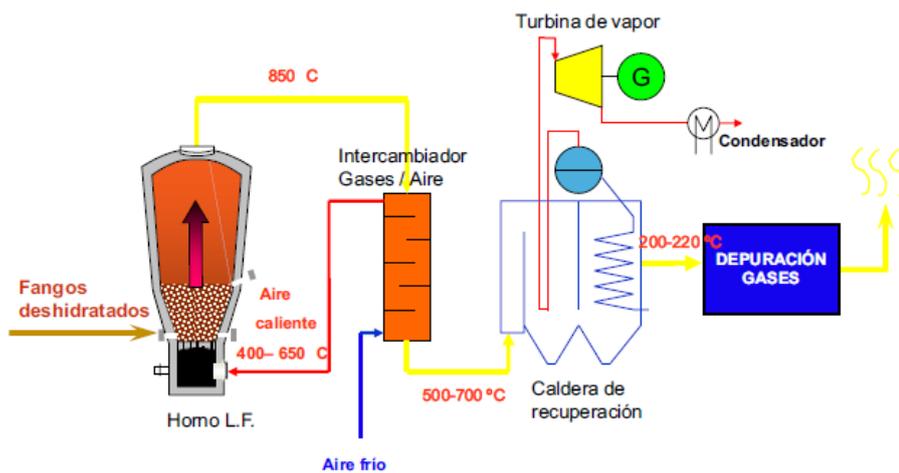


Figura 3 25 Intercambiador Gases /Aire Fuente: Jaume Relea 2010

el horno de lecho fluido es la técnica de oxidación térmica más eficiente para la reducción de los fangos.

### 3.5. Mejores técnicas disponibles tratamientos de residuos.

#### Referente Document on Best Available Techniques for Waste Incineration» de agosto de 2006:

El 1 de julio de 2002 se aprobó la Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que incorpora a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 96/61/CE.

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

La ley exige un enfoque integrado de la industria en su entorno y el conocimiento por parte de todos los implicados -industria, autoridades competentes y público en general de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), con el fin de reflejar todos estos aspectos en la Autorización Ambiental Integrada que otorgan las CCAA.

Se establece, en el marco de la Unión Europea, un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias para la elección de estas MTDs que deben servir de referencia común para los Estados miembros a la hora de establecer el objetivo tecnológico de aplicación a las diferentes actividades.

La Comisión Europea a través de la Oficina Europea de IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau), ha organizado una serie de grupos de trabajo técnico que, por epígrafes y actividades, proponen a la Comisión Europea los Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles (BREFs).

Los BREF informarán a las autoridades competentes sobre qué es técnica y económicamente viable para cada sector industrial, en orden a mejorar sus actuaciones medioambientales.

Los residuos y su gestión son un aspecto medioambiental significativo. El tratamiento térmico de residuos es una respuesta a las amenazas medioambientales debidas a corrientes de residuos mal gestionados.

El objetivo del tratamiento térmico es conseguir una reducción global de impacto ambiental que podría derivarse de los residuos. No obstante, en el curso del funcionamiento de instalaciones de incineración se producen emisiones y consumos de existencia y magnitud influenciada por el diseño y el funcionamiento de la instalación.

La aplicación y entrada en vigor de modernas normativas sobre emisiones, así como el uso de modernas tecnologías de control de la contaminación, han reducido las emisiones a la atmósfera a niveles en los cuales los riesgos contaminantes de las incineradoras de residuos son muy bajos. El uso de dichas técnicas para controlar las emisiones a la atmósfera representa un aspecto medioambiental clave.

Para garantizar un tratamiento eficaz de residuos sin gestionar, potencialmente contaminantes, muchas instalaciones de incineración de residuos tienen un papel particular como procesos de recuperación de energía a partir de residuos. En los lugares donde se han aplicado políticas para aumentar la capacidad de las instalaciones (generalmente municipales) de incineración de residuos para valorizar los residuos, esto aumenta la explotación de esta

contribución medioambiental positiva. Por lo tanto, una oportunidad medioambiental para el sector es incrementar su potencial como proveedor de energía.

Una MTD fundamental destaca la importancia de elegir un diseño de instalación adecuado a las características de los residuos recibidos en la instalación dependientes de sus características tanto físicas como químicas. Esta MTD es fundamental para asegurar que la instalación pueda tratar los residuos recibidos.

La MTD tiene en cuenta el establecimiento y mantenimiento de controles de calidad sobre la entrada de residuos. Esto se hace para asegurar que las características de los residuos se mantengan adecuadas al diseño de la instalación receptora. Estos procedimientos de control de calidad son compatibles con la aplicación de un sistema de gestión ambiental, que también se considera MTD.

Hay varias MTD relativas a las condiciones y gestión del almacenamiento de los residuos entrantes antes de su tratamiento, de manera que no produzcan emisiones contaminantes y olores. Se destacan algunas técnicas y condiciones específicas de almacenamiento. Se deben tener en cuenta los riesgos y las propiedades del residuo en cuestión para considerarlo MTD.

La capacidad demostrada de algunos diseños de instalaciones para tratar eficazmente residuos altamente heterogéneos (ej.: RSU mixtos), y los riesgos y otros efectos medioambientales cruzados en relación con el pretratamiento, es MTD pretratar los residuos entrantes en el grado requerido para cumplir las características de diseño de la instalación receptora, destacando que el tratamiento de los residuos más allá de esto necesita una consideración ponderada de los beneficios (posiblemente limitados), factores operativos y efectos sobre otros medios.

El diseño y operación de la etapa de combustión destaca como un aspecto primordial de prevención de la contaminación y se consideran de gran importancia para alcanzar los objetivos de la Directiva IPPC. En funcionamiento, se considera MTD utilizar diversas técnicas (ej. control del aporte y distribución de aire) para controlar la combustión. La MTD relativa a la selección de un diseño adecuado a los residuos recibidos es de mucha importancia aquí.

El uso de las condiciones operativas de combustión especificadas en el Artículo 6 de la Directiva 2000/76/CE (DIR) se considera compatible con las MTD. No obstante, el TWG<sup>6</sup> observó que operar en condiciones que sobrepasen éstas (ej. temperaturas más elevadas)

---

<sup>6</sup> Document on Best Available Techniques for Waste Incineration

podría producir un deterioro global en la eficacia ambiental, y que existían varios ejemplos de instalaciones de residuos peligrosos con una mejora global en el comportamiento ambiental utilizando temperaturas operativas inferiores a los 1100°C especificados en la DIR para ciertos residuos peligrosos. La conclusión sobre MTD fue que las condiciones de combustión (ej. temperatura) deberían ser suficientes para conseguir la destrucción del residuo, pero, con el fin de limitar los posibles impactos sobre otros medios, no debían en general exceder dichas condiciones. La disposición de quemadores auxiliares para alcanzar y mantener las condiciones operativas se considera MTD en la combustión de residuos.

Cuando se emplea gasificación o pirólisis, con el fin de evitar la generación de residuos mediante el desecho de los productos de reacción de estas técnicas, es MTD recuperar el valor energético de los productos empleando una etapa de combustión, o suministrarlos para su uso. Los niveles de emisiones a la atmósfera asociados con MTD de la etapa de combustión de dichas instalaciones son los mismos que los establecidos para instalaciones de incineración.

La recuperación del valor energético del residuo es un aspecto medioambiental clave para el sector, presentando un área en la que el sector puede hacer una contribución positiva. Varias MTD cubren este aspecto, ocupándose de:

- técnicas específicas que se consideran MTD;
- las eficiencias de transferencia de calor esperadas en calderas;
- el uso de cogeneración, calefacción centralizada, suministro de vapor industrial y producción de electricidad;
- las eficiencias de recuperación que cabe esperar.

Dado que la cogeneración y el suministro de vapor/calor proporcionan la mejor oportunidad para aumentar los índices de recuperación de energía, las políticas de disponibilidad de clientes adecuados para vapor/calor juegan un papel bastante más importante en la determinación de la eficacia en una instalación que los detalles sobre su diseño. Por motivos estratégicos y económicos, la producción y suministro de electricidad suele ser la opción de recuperación de energía escogida en instalaciones individuales. Las opciones de cogeneración, calefacción centralizada y suministro de vapor industrial sólo están bien explotadas en unos pocos Estados Miembros europeos –generalmente los que tienen los precios energéticos más elevados o han adoptado políticas particulares–. El suministro de energía para el funcionamiento de sistemas de refrigeración y plantas de desalinización es algo que se hace,

aunque en general está mal explotado –se trata de una opción que puede ser de particular interés en zonas con climas más cálidos, y en general amplía las opciones para el suministro de energía derivada de residuos–.

Los tratamientos de los gases de combustión utilizados en instalaciones de incineración de residuos han sido desarrollados a lo largo de los años con el fin de cumplir con las estrictas normas de regulación, y en la actualidad tienen un avanzado nivel técnico. Su diseño y operación son muy importantes para garantizar que todas las emisiones a la atmósfera estén bien controladas. Las MTD que se incluyen:

- cubren el proceso de selección de sistemas de tratamiento de gases de combustión;
- describen varias técnicas específicas que se consideran MTD;
- describen los niveles de comportamiento ambiental previstos en la aplicación de MTD.

Los rangos de comportamiento ambiental acordados por el TWG ampliado generó algunas discrepancias. Estas provenían principalmente de un Estado Miembro y de la ONG Medioambiental, que creían que valores de emisión inferiores a los rangos acordados por el resto del TWG podrían también considerarse como MTD.

Entre las MTD relativas al control de aguas residuales se incluyen:

- la recirculación al proceso de determinados efluentes;
- la separación del desagüe de determinados efluentes;
- el empleo de tratamiento de efluentes in situ para los efluentes de lavadores húmedos;
- niveles de comportamiento asociados con MTD para el tratamiento de efluentes de lavadores;
- el uso de técnicas específicas.

Los rangos de comportamiento acordados por el TWG ampliado ocasionaron algunas discrepancias de un Estado Miembro y la ONG Medioambiental, que creían que valores de emisión inferiores a los rangos dados podrían también considerarse como MTD.

Entre las MTD relativas a la gestión de residuos se incluyen:

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

- un nivel de <sup>7</sup>COT en la calcinación de las cenizas de fondo inferior al 3 %, con valores típicos entre 1 y 2 %;
- una serie de técnicas que adecuadamente combinadas permitan alcanzar estos niveles de calcinación;
- la gestión separada de las cenizas de fondo y las cenizas volantes, así como un requisito para evaluar cada corriente producida;
- la extracción de metales férricos y no férricos de la ceniza y su recuperación (cuando estén presentes en la ceniza en un grado suficiente para hacerlo viable);
- el tratamiento de las cenizas de fondo y otros residuos mediante determinadas técnicas –en la medida requerida para que cumplan los criterios de aceptación en el centro receptor de recuperación o eliminación.

Las MTD más específicas para los subsectores de la industria que tratan principalmente los siguientes residuos:

- residuos municipales;
- residuos municipales pretratados o seleccionados;
- residuos peligrosos;
- lodos de depuradora;
- residuos clínicos.

Las MTD específicas nos llevan a conclusiones más detalladas. Estas conclusiones tratan sobre los siguientes aspectos específicos de corrientes residuales:

- gestión, almacenamiento y pretratamiento de residuos entrantes;
- técnicas de combustión;
- eficacia de recuperación de energía.

La Directiva IPPC tiene por finalidad la prevención y el control integrados de la contaminación mediante las actividades relacionadas en su Anexo I, orientadas a conseguir un alto grado de protección del medio ambiente en su conjunto. Aunque el ámbito legal de la Directiva es solo la protección medioambiental, también deben tenerse en cuenta otros objetivos comunitarios,

---

<sup>7</sup> carbono orgánico total

como garantizar la existencia de las condiciones necesarias para la competitividad de la industria comunitaria, contribuyendo con ello al desarrollo sostenible.

En ella se establece un sistema de permisos para ciertas categorías de instalaciones industriales que exige que, sus titulares y las autoridades reguladoras, realicen un análisis integrado y global del potencial de contaminación y consumo de la instalación. El objetivo global debe ser mejorar la gestión y el control de los procesos industriales, con la finalidad de conseguir un alto grado de protección para el medio ambiente en su conjunto. Para ello es importante el principio general establecido en el Artículo 3, por el que los titulares deben tomar todas las medidas adecuadas de prevención de la contaminación, principalmente mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles que les permitan mejorar su comportamiento con respecto al medio ambiente. En el artículo 2(11) de la Directiva se define el término «mejores técnicas disponibles» como «la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente». El Artículo 2(11) incluye a continuación la siguiente aclaración adicional de la citada definición:

«mejores»: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto;

- «técnicas»: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación se diseña construye, mantiene, explota y paraliza;
- «disponibles»: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado Miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables.

Además, el Anexo IV de la Directiva refleja una lista de «aspectos que deben tenerse en cuenta con carácter general o en un supuesto particular cuando se determinen las mejores técnicas disponibles (...), teniendo en cuenta los costes y ventajas que pueden derivarse de una acción y los principios de precaución y prevención». Estas consideraciones incluyen la información publicada por la Comisión de conformidad con el Artículo 16(2). Las autoridades competentes responsables de la concesión de permisos deben tener en cuenta los principios

generales establecidos en el Artículo 3, a la hora de determinar las condiciones del permiso. Estas condiciones deben incluir los valores límite de emisión, en su caso complementados o sustituidos por parámetros o medidas técnicas equivalentes. De acuerdo con el Artículo 9(4) de la Directiva, estos valores límite de emisión, parámetros y medidas técnicas equivalentes deben basarse, sin perjuicio del cumplimiento de las normas de calidad medioambiental, en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica, sino tomando en consideración las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En todos los casos, las condiciones del permiso deberán incluir disposiciones relativas a la reducción de la contaminación a larga distancia o transfronteriza y garantizar un alto nivel de protección para el medio ambiente en su conjunto.

Los Estados Miembros tienen la obligación, de acuerdo con el Artículo 11 de la Directiva, de velar por que las autoridades competentes estén al corriente o sean informadas acerca de la evolución de las mejores técnicas disponibles.

A continuación se detallan aspectos relativos a la conexión entre la Directiva 2000/76/CE, de 4 de diciembre 2000, sobre la incineración de residuos (Directiva IR) y la Directiva 96/61/CE, de 24 de septiembre 1996, relativa a la prevención y control integrado de la contaminación (Directiva IPPC).

Debe subrayarse que la interpretación última de la legislación Comunitaria es competencia del Tribunal Europeo de Justicia, y por lo tanto no puede excluirse que la interpretación del Tribunal pueda suscitar nuevos aspectos a considerar en el futuro.

La DIR contiene, entre otras, la siguiente referencia explícita a la Directiva IPPC: El Considerando 13 de la DIR dispone que: «El cumplimiento de los límites de emisión establecidos por esta Directiva debe considerarse como una condición necesaria pero no suficiente para el cumplimiento de los requisitos de la Directiva 96/61/CE. Dicho cumplimiento puede comportar límites de emisión más estrictos para los contaminantes considerados por esta Directiva, límites de emisión para otras sustancias y otros medios, y otras condiciones pertinentes.»

El considerando establece claramente que el cumplimiento de los límites de emisión establecidos por la DIR no exime de la obligación de cumplimiento con las disposiciones de la Directiva IPPC, incluyendo un permiso que contenga límites de emisión o parámetros equivalentes y medidas técnicas determinadas según lo dispuestos por el Artículo 9(4) o

el Artículo 9(8) de la segunda. Como se indica en el prefacio estándar del BREF, hay una cierta flexibilidad implícita en las disposiciones del Artículo 9(4) de la Directiva IPPC, así como en la definición de MTD. No obstante, si una autoridad competente o la normativa general determinara la aplicación de condiciones más estrictas que las establecidas en la Directiva IR a fin de cumplir los requisitos de la Directiva IPPC para un permiso particular, se aplicarían estas condiciones más estrictas.

## 4. Materiales y Metodos.

### 4.1. EDAR Galindo de Sestao (*Consortio Aguas de Bilbao-Bizkaia*). Descripción de la planta y del proceso valorización de lodos.

#### EDAR GALINDO INTRODUCCIÓN:

La Estación Depuradora de Aguas Residuales (**E.D.A.R.**) de **Galindo** ubicada en Sestao es la gran obra por excelencia en saneamiento del Consorcio de Aguas Bilbao-Bizkaia.

Su construcción comenzó en 1985 y ha sido decisiva para la mejora del medio natural y la nueva imagen de nuestros ríos, ría y playas. Desde 1990, año en el que concluyeron las obras en la E.D.A. R. de Galindo, se depuran al día 350.000 metros cúbicos de aguas residuales.

En esta depuradora tienen lugar dos procesos diferentes: la **depuración de las aguas y el tratamiento de los fangos** derivados del proceso. El tratamiento del agua se lleva a cabo por diferentes procesos englobados en el pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario. Respecto a los fangos extraídos en los diferentes procesos de decantación del agua, tras un tratamiento para espesarlos, son incinerados. El vapor que se extrae de su vaporización se utiliza en una planta de cogeneración que produce la energía suficiente para abastecer las necesidades de todas las instalaciones de la depuradora.

A comienzos del año 2012 el Consorcio de Aguas inicia la plantación de 1.200 frutales autóctonos, además de arbustos y pradera rústica en las instalaciones de la Estación, como parte del proyecto de **Mejora Paisajística de la EDAR**.

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN  
ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION



Figura 4 1 VISTA AEREA DE LA EDAR Galindo Fuente: <http://www.bizkaia21.eu/atalak/TerritorioSostenible/Lugares/datos.asp?id=3&IdPagina=36&idioma=ca>

DESCRIPCION GENERAL DE LA EDAR:

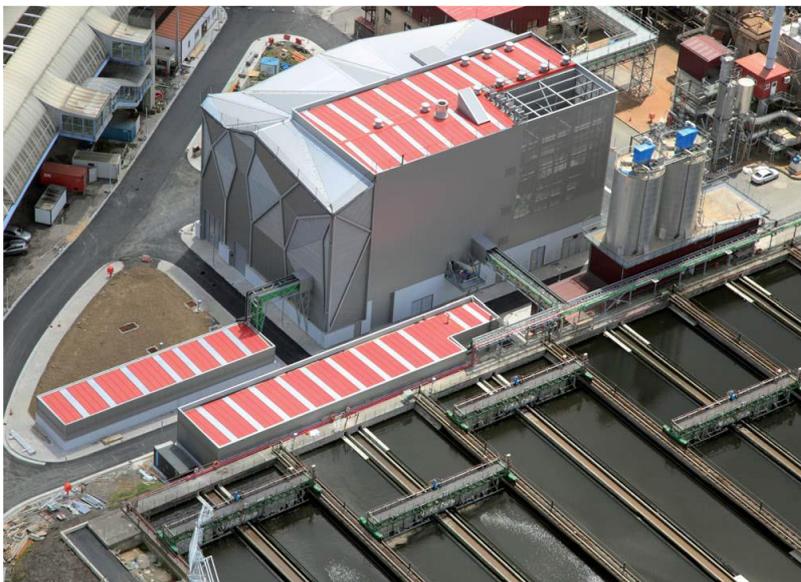


Figura 4 2 Vista aerea de EDAR Galindo. Fuente: : Nueva instalación de valorización de lodos de la EDAR de Galindo REVISTA RETEMA OCTUBRE 2015. [www.retema.es](http://www.retema.es)

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

La EDAR de Galindo, está ubicada en Sestao y gestionada por el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia, (CABB), la de mayor capacidad de la zona. El Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia (CABB) se creó en el año 1967 para la gestión del abastecimiento y saneamiento en red primaria de los 56 municipios que lo constituyen y sirve a una población equivalente de 1.380.000 habitantes. En estos municipios se encuentran localizados los asentamientos industriales más importantes de la provincia, lo que repercute notablemente en la calidad de las aguas residuales que hay que depurar.

Se trata de una depuradora urbana con tratamiento biológico de fangos activos. Las aguas residuales recolectadas por el sistema de saneamiento llegan a la EDAR a través de 2 colectores

**Operaciones unitarias de tratamiento de la EDAR:**

**LINEA DE AGUA:** consta de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario de fangos activos

**PRETATAMIENTO:**

**DESBASTE DE GRUESOS:**

Cinco rejillas retienen los elementos SÓLIDOS de gran tamaño como palos, piedras o plásticos. Desde aquí el agua se bombea con un caudal máximo de 18,4 m<sup>3</sup>/seg

**DESBASTE DE FINOS:**

Se realiza un desbaste fino por medio de cinco tamices de 3 mm de paso, con capacidad para 12,6 m<sup>3</sup>/seg.

**DESARENADO DESENGRASADO:**

A continuación se procede al desarenado y la arena resultante se bombea a ocho equipos lavadores y se deposita en contenedores.

El agua desbastada pasa a los decantadores primarios

**TRATAMIENTO PRIMARIO:**

**DECANTACION PRIMARIA:**

Consiste en la eliminación de la mayoría de los sólidos en suspensión. El agua que sale de los desarenadores se envía a decantación primaria por un canal con 16 agitadores para evitar los

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

depósitos. Los restos flotantes se retiran y Trituran para seguir el proceso y el agua resultante pasa a los reactores biológicos



*Figura 4 3.... Decantadores primarios*

*rectangulares* Fuente: <http://www.bizkaia21.eus/atalak/TerritorioSostenible/Lugares/datos.asp?id=3&IdPagina=36&idioma=ca>

**TRATAMIENTO SECUNDARIO: TRATAMIENTO BIOLÓGICO:**

**TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE FANGOS ACTIVOS**

En esta fase se elimina la materia orgánica. Basado en un sistema de depuración biológica de microorganismos suspendidos

El agua llega a unas cubas en las que mediante un sistema de oxigenación se facilita el desarrollo de bacterias. Esos organismos AEROBIOS se alimentan de materia orgánica por lo que hacen desaparecer la mayor parte de las sustancias disueltas en el agua, que son retenidos en la decantación secundaria.



Figura 4 4.... Lagunas o cubas de oxidación de fangos

activoFuente:<http://www.bizkaia21.eus/atalak/TerritorioSostenible/Lugares/datos.asp?id=3&IdPagina=36&idioma=ca>

#### DECANTACION SECUNDARIA:

Separa el agua depurada y los fangos biológicos. Está compuesto por 18 decantadores estáticos rectangulares de succión, con una caudal punta de 333 l/seg.

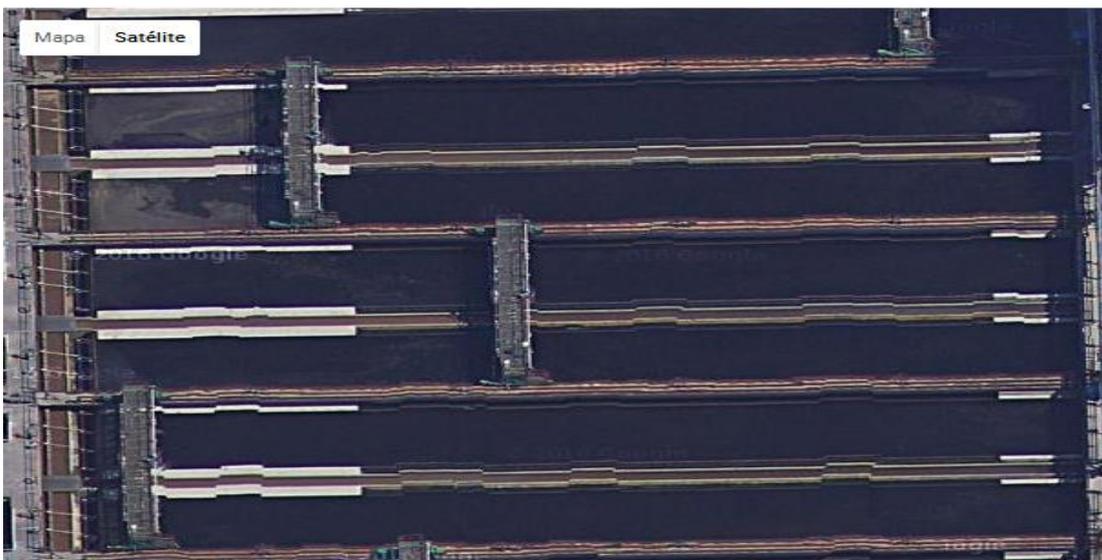


Figura 4 5 decantadores

secundariosFuente:<http://www.bizkaia21.eus/atalak/TerritorioSostenible/Lugares/datos.asp?id=3&IdPagina=36&idioma=ca>

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

El agua tratada, decantada, se envía a la obra de salida para su devolución al cauce del río, y los lodos biológicos retornan a los reactores biológicos.

**TRATAMIENTO TERCIARIO**

Previo a su salida se somete a un tratamiento terciario para obtener un efluente de calidad. Desde 2009 en esta fase se desinfecta el agua de tal manera que puede ser reutilizada para riego de jardines, limpieza de calles, etc. Es un tratamiento avanzado que elimina sales, nutrientes disueltos en el agua y sólidos en suspensión inferiores a 0,035 micras

**EFLUENTE** El agua depurada se conduce al río por dos tuberías, vertiendo al cauce de forma que no se perturbe el régimen hidráulico del río.



*Figura 4 6...tratamiento terciario y salida del efluente...*

Fuente:<http://www.bizkaia21.eus/atalak/TerritorioSostenible/Lugares/datos.asp?id=3&IdPagina=36&idioma=ca>

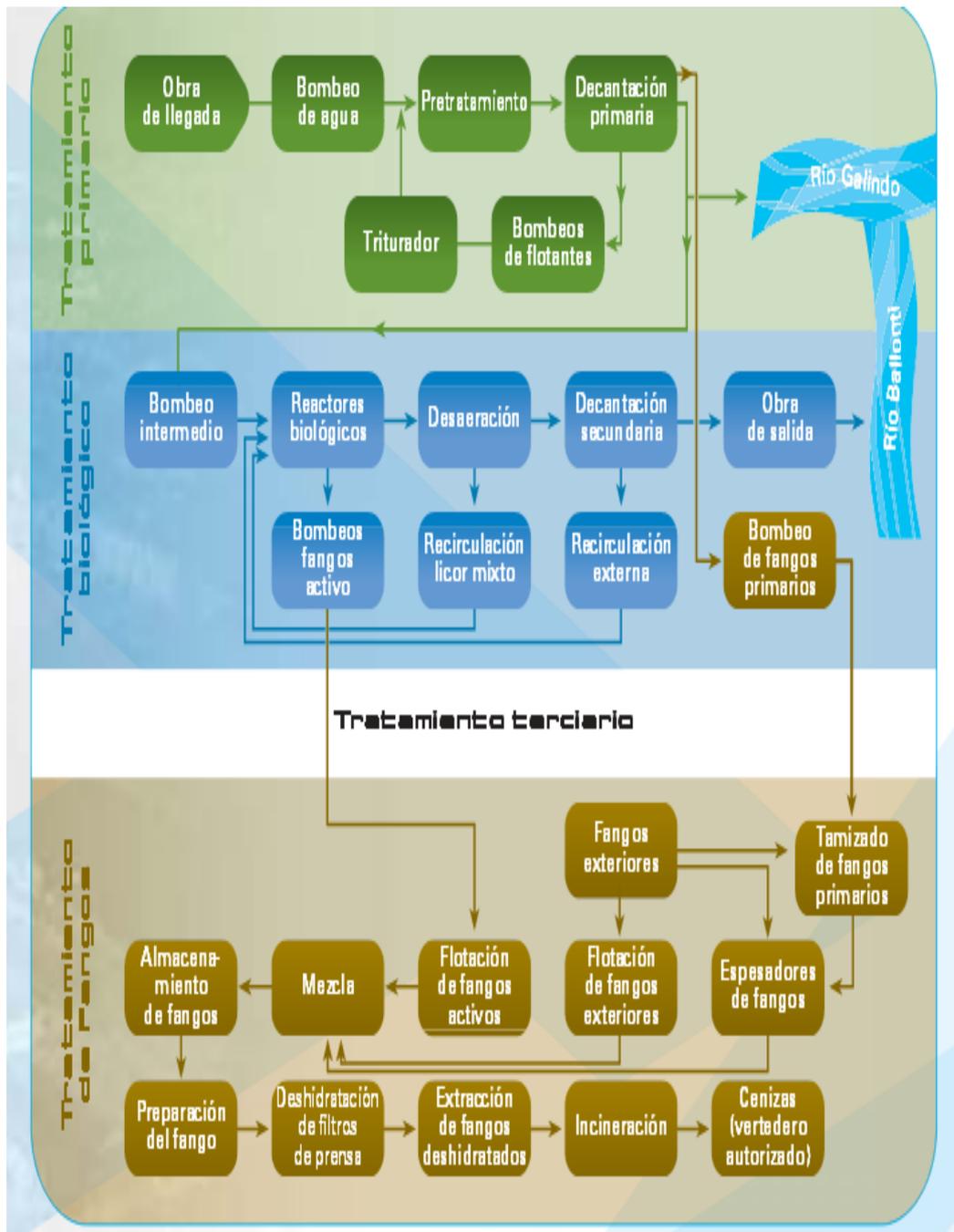


Figura4.7. Esquema Proceso de depuración Fuente:

[http://www.bizkaia21.eus/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio\\_Sostenible/dokumentuak/20101011115000052\\_edarGal.pdf](http://www.bizkaia21.eus/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio_Sostenible/dokumentuak/20101011115000052_edarGal.pdf)

### LÍNEA DE TRATAMIENTO DE FANGOS

Todos los fangos extraídos en los diferentes procesos de decantación del agua se llevan a una cámara de mezcla provista de un sistema de agitación mecánica. El fango mezclado y espesado se prepara con reactivos antes del proceso de secado. Estos fangos deshidratados son

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

incinerados a un mínimo de 850 grados centígrados. Las cenizas resultantes se transportan a un vertedero autorizado



Figura 4 8("CABB-Folleto Galindo MTr - The-Galindo-WWTP-Leaflet.pdf," n.d.) Fuente:

[http://www.bizkaia21.eus/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio\\_Sostenible/dokumentuak/20101011115000052\\_edar\\_Gal.pdf](http://www.bizkaia21.eus/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio_Sostenible/dokumentuak/20101011115000052_edar_Gal.pdf)

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

Características: Cantidad y sequedad del fango a incinerar						
	Condiciones de funcionamiento					
	Unidades	Inferior subdimensionado	Inferior	Nominal	Nominal sobredimensionado	Superior
Carga de fango deshidratado	kg/h	7200	8000	8000	8800	8000
Materia seca (MS)	%	28	28	30	30	34
Materia seca (MS)	kg/h	2016	2240	2400	2640	2720
Materia volátil (MV) en materia seca	% MV/MS	58	58	63	63	68
Poder calorífico inferior de la materia volátil	kcal/kg volátil	5200	5200	5200	5200	5300

Figura 4 9 Características de los fangos deshidratados para valorización por incineración Fuente: EDAR GALINDO

**VALORIZACION DE FANGOS AAI:** Los fangos tratados en la instalación de valorización son generados en el proceso de depuración de aguas residuales EDAR GALINDO ubicada en Sestao.

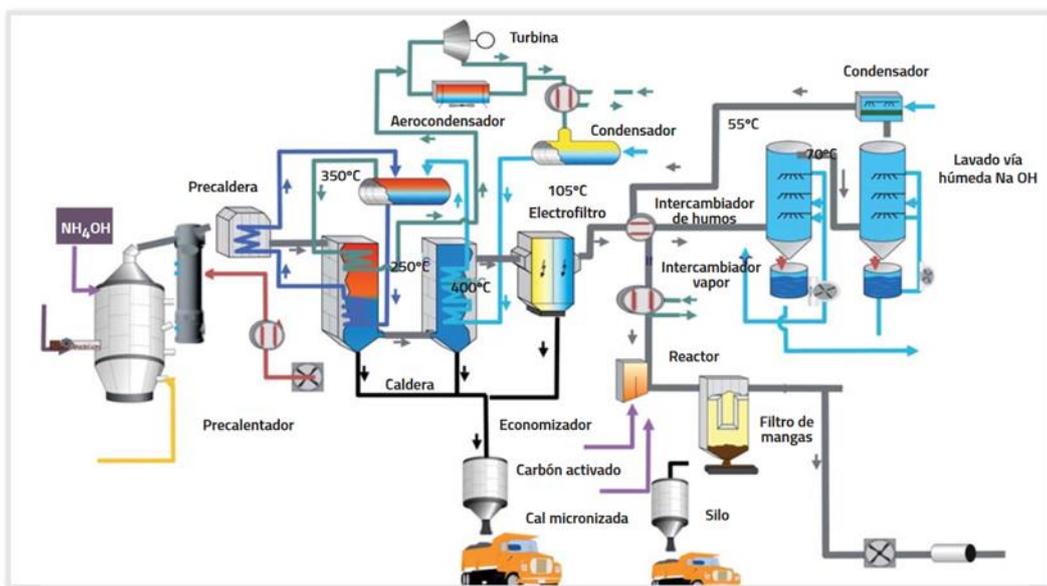


Figura 4 10 ESQUEMA DEL PROCESO DE VALORIZACIÓN DE FANGOS MEDIANTE INCINERACIÓN Fuente:

<http://www.retema.es/articulo/nueva-instalacion-de-valorizacion-de-lodos-de-la-edar-de-galindo-DMmoX>

Las instalaciones de tratamiento de fangos están ubicadas en la calle Vega Nueva, s/n en el término municipal de Sestao, ocupando una superficie total de 24.500 m<sup>2</sup>, de los cuales, las edificaciones ocupan 12.670 m<sup>2</sup>. La capacidad máxima de incineración de fangos con

recuperación de energía amparada por la autorización AAI se fija en 90.000 toneladas al año. Por tanto, el promotor no podrá utilizar la capacidad real de los equipos de incineración más allá de este límite, debiendo acreditar este extremo, tal como se establecerá más adelante. Los fangos deshidratados se almacenan en 2 Silos de **200 t./ c.u.**

El proceso de valorización de fangos incluye un sistema de cogeneración que aprovecha el calor de los gases de escape para calentar el fluido térmico, así como para generar energía eléctrica.

**Los parámetros básicos a controlar son:**•Caudal de aire de fluidificación Nm<sup>3</sup>/h,•Caudal de fango aportado T/h,•Caudal de gas natural Nm<sup>3</sup>/h y•Caudal de aire secundario Nm<sup>3</sup>/h. **Otros Parámetros de diseño son:** Poder calorífico de la materia volátil Kcal/kg, Poder calorífico del gas Kcal/Nm<sup>3</sup>, Temperatura combustión °C, Sequedad del fango%, Consumo específico de gas (Nm<sup>3</sup>/T MS) y Tiempo residencia de los gases (sg).

Se requiere mantener una temperatura en la zona de combustión mayor de 850°C y en la parte superior menor de 1050°C, quemando la mayor cantidad de fango con el menor consumo de gas posible.

En la valorización de fangos existen actualmente 3 líneas, dos líneas operativas que desarrollan el mismo proceso y una tercera línea, tras la aprobación del proyecto sometido a Autorización ambiental Integrada ( año 2015), de forma que todas potencialmente funcionarán de forma simultánea, siempre que no se superen las 90.000 toneladas al año autorizadas.

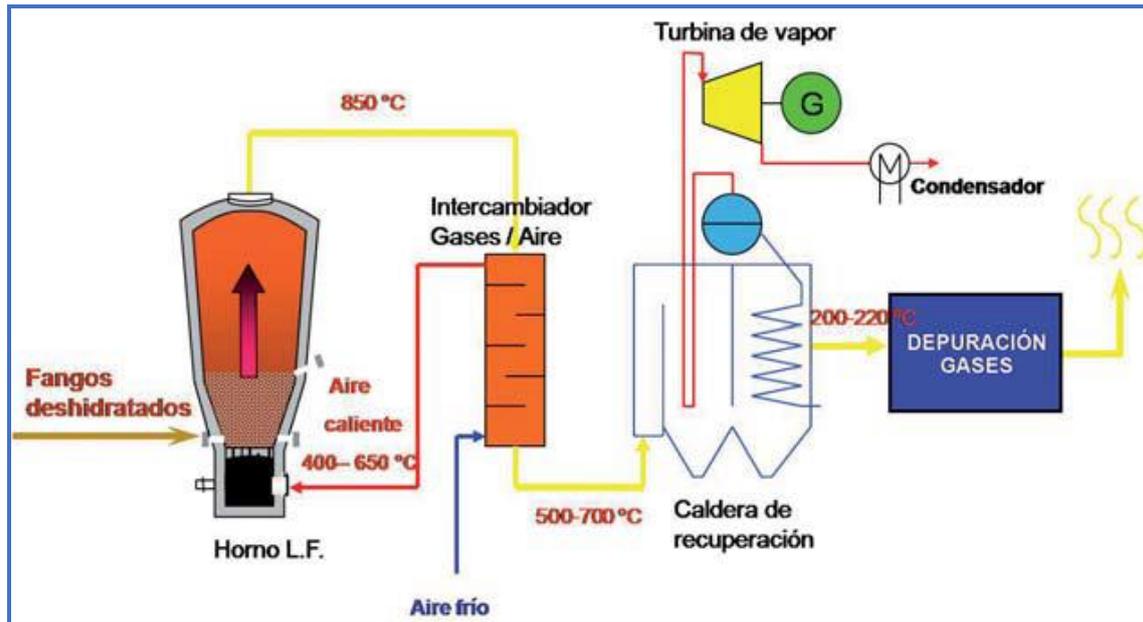


Figura 4 11 Esquema de incinerador de lodos ,caldera y sistema de depuración de gases.. Fuente: Jaume Relea 2010

Normalmente, las 3 líneas no funcionan conjuntamente, siempre se deja un horno de reserva. En verano que hay menor producción de lodos funcionan los hornos 1 y 2 con una capacidad total de 12 T/h, en el resto del año funcionan el horno 2 y 3 con una capacidad de 16 t/h.

Las etapas de las que consta la instalación son:

●**Primera etapa: Deshidratación de fangos:** se realiza a través de 5 filtros prensa, donde la parte sólida queda retenida por la tela filtrante formándose una pasta seca, denominada torta. Una vez formada la torta se cierra la alimentación de lodo y se procede a la apertura del filtro. Al mover las placas filtrantes la torta es liberada y descargada, lo cual permite volver a iniciar un nuevo ciclo. **Cada prensada produce 7,50 t de lodo deshidratado con una concentración de 28-35% de Materia Seca.** Los lodos deshidratados se almacenan en un silo desde el que se alimenta el horno, por bomba de doble pistón. Para evitar atascamiento se le añade un polielectrolito.

**En la segunda etapa,** el alimentador de fango al horno, o máquina de carga, introduce el fango al horno. Consta de unas palas que rotan alrededor de un eje horizontal, y desmenuzan y proyectan el fango dentro de la cámara de combustión. En los **hornos de lecho fluido**, el lodo deshidratado se descarga sobre un lecho de arena que se mantiene en suspensión mediante el empuje del aire de combustión o fluidificación que entra por la parte inferior del lecho de arena a través de boquillas insertadas en una parrilla

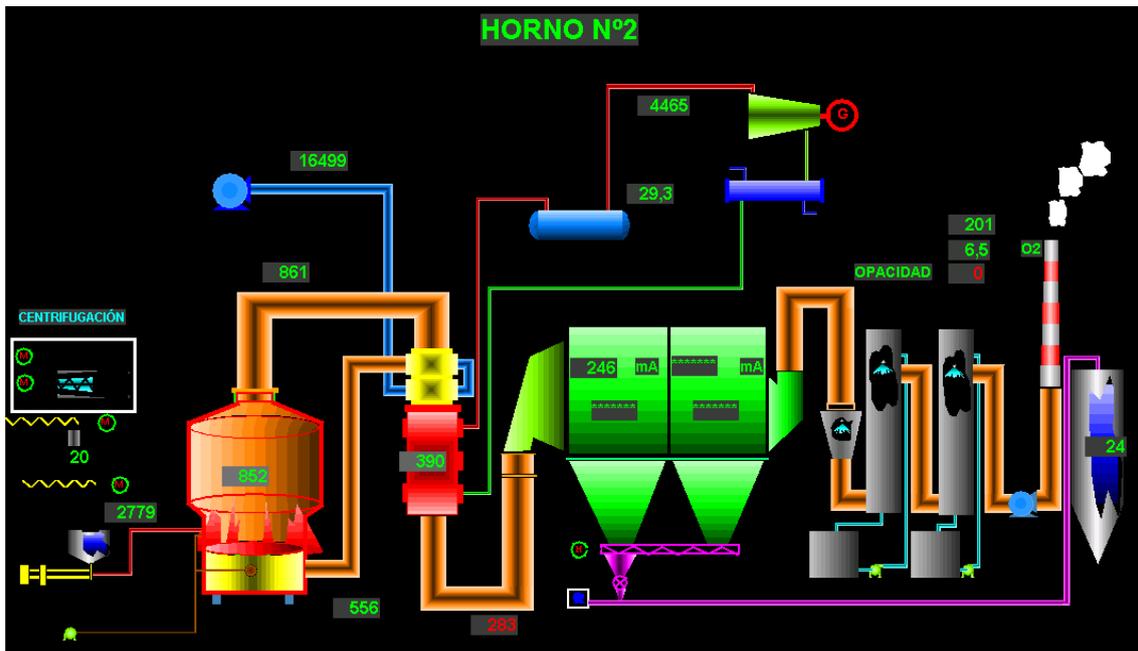


Figura 4.12 Vista general del incinerador de lodos y tratamiento de humos con aprovechamiento de energía.

Fuente: <http://catedramln.unizar.es/files/conferencias/lodos2013/Palacios.pdf>

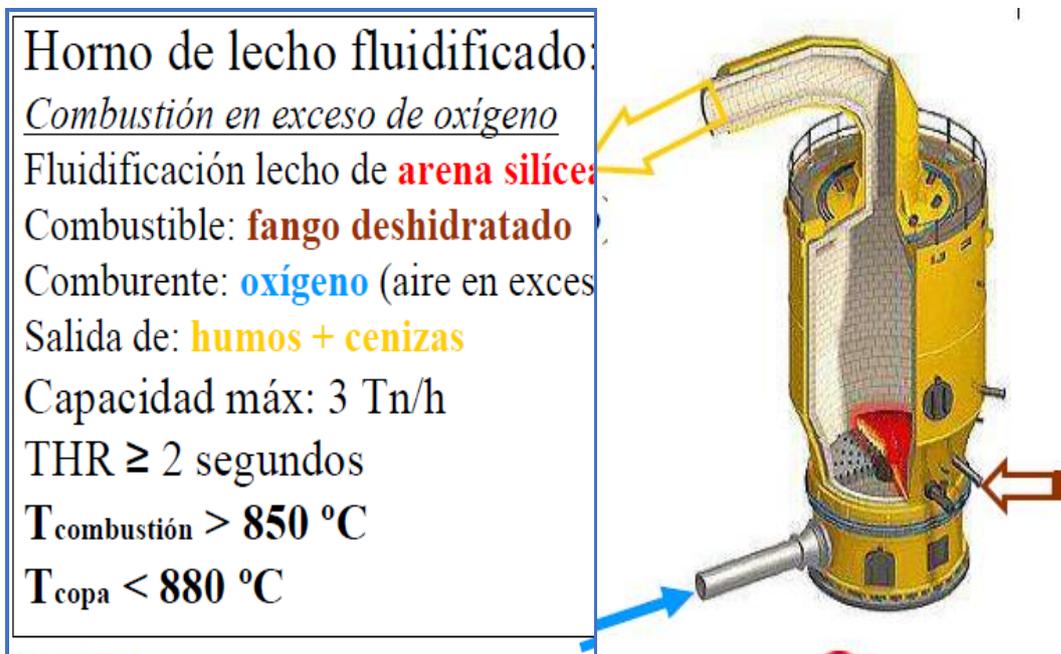


Figura 4.13 Esquema de horno de lecho fluidizado. Fuente: [www.veoliawatertechnologies.es/](http://www.veoliawatertechnologies.es/)



Figura 4 14 El sistema de lecho fluido: El horno Thermylis. Fuente: <http://docplayer.es/13960354-El-factor-clave-del-tratamiento-de-fangos-la-energia-inaki-del-campo-director-de-proyectos-degrement-iberia.html>

El lecho de arena está a una temperatura igual o superior a 700 °C, condición en la que el lodo combustiona y el conjunto de los gases de combustión y las cenizas se desplazan hacia la parte superior. La combustión será mejor cuanto más estable sea la sequedad de los lodos deshidratados, si ésta disminuye, la temperatura disminuye y en ese caso se dispone de alimentación automática de combustible de apoyo que garantiza la temperatura indicada de 850 °C. Si por el contrario la temperatura aumenta sobrepasando el límite superior de rango de temperatura de 950 °C, el horno dispone de alimentación de aire frío que controla la temperatura máxima. Se dispone de 2 hornos, que funcionan con gas natural, entrando en funcionamiento, a partir de finales de enero de 2015, un tercer horno (Orbe et al 2015; Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia) que consigue las condiciones de autotermicidad. La nueva instalación de valorización con una capacidad de 8 T/h, es autotérmica para condiciones normales de entrada del lodo, de modo que no es necesaria la adición de ningún combustible adicional para que se dé el proceso de combustión del lodo. La instalación, es energéticamente autónoma. Por un lado, genera la energía térmica suficiente para garantizar la autotermicidad y, por otro

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

lado, se realiza un aprovechamiento energético secundario, que hace posible la autonomía eléctrica

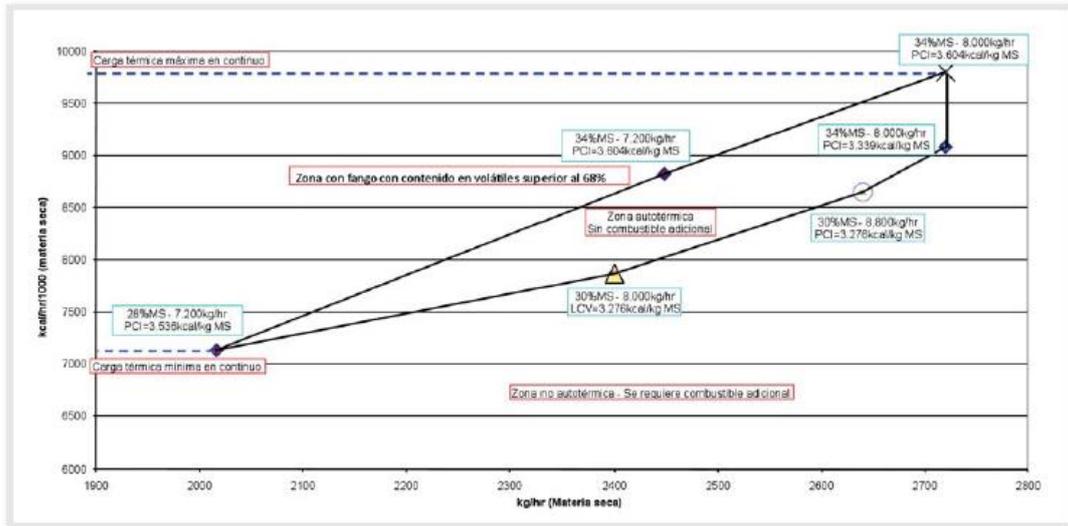


Figura 4 15 Condiciones de autotermicidad horno n°3. Fuente: **Nueva instalación de valorización de lodos de la EDAR de Galindo REVISTA RETEMA OCTUBRE 2015.** [www.retema.es](http://www.retema.es)

**La tercera etapa : evacuación de cenizas**, se incluye en el proceso para retirar de los humos los contaminantes sólidos antes de su emisión a la atmósfera. Las cenizas generadas se bombean directamente a los camiones cisterna propiedad de la cementera para su posterior valorización.

● **La última etapa del proceso es la producción de vapor**, la cual se ejecuta para aprovechar la energía calorífica de los humos que se obtiene como resultado de la combustión de fangos (combustible alternativo). **La cogeneración** está formada por dos motogeneradores de 3.535 Kwh cada uno, alimentados con Gas Natural, y una turbina de vapor de 2.071 Kwh máximos, que emplea el vapor sobresaturado obtenido en la caldera de recuperación del sistema de Valorización de lodos. En esta cogeneración se aprovecha el calor de los gases de escape de la combustión de fangos para calentar el Fluido Térmico y obtener vapor en una caldera de recuperación (6 t/h), además de la generación de energía eléctrica por los alternadores, la cual se consume en la planta o, en caso de excedentes, se vende a la Red Eléctrica.

**DEPURACIÓN DE GASES Y EVACUACIÓN**

**Primera etapa: Electro filtro:** Después de aprovechado el calor residual de los gases de combustión se procede a la depuración de éstos. La primera etapa consiste en un electro filtro



- **Una segunda torre llamada neutra** en la que se dosificará sosa cáustica diluida con objeto de eliminar los principales contaminantes de los gases. Para la recirculación de los fluidos reactivos en estas torres se han instalado las bombas necesarias a tal efecto, así como medida de diferentes parámetros para el control de las dosificaciones. En una última etapa de la segunda torre se dispone, como en las líneas existentes, de un condensador de un único paso directo que, al enfriar nuevamente los gases, eliminará por condensación una gran parte del agua contenida en los gases antes de su recalentamiento.

**Tercera etapa: Vía seca:** Se dispone de una tercera etapa de depuración de gases consistente en un **reactor** para la mezcla e inyección de reactivos con el caudal de gases a depurar y un **filtro de mangas** que detiene dichos reactivos a la par que los contaminantes restantes en sus telas filtrantes. El filtro de mangas está construido con su sistema de limpieza automática que recoge las cenizas y residuos de la reacción, en sus tolvas de fondo. Dichos residuos son enviados al silo de almacenamiento de cenizas especiales también construido con las instalaciones del Horno 3.

**Evacuación por chimenea:** Se ha instalado un ventilador de tiro para mantener el caudal de gases a depurar en continua extracción, manteniendo, de forma constante una ligera depresión en el horno (-20 mmCA, aprox.) y en depresión en todo el resto de la línea, favoreciendo la evacuación de los gases de combustión y la continuidad de la depuración de éstos. Tras el ventilador de tiro se instala un silenciador y seguidamente se envían los gases depurados a la chimenea. En ésta, son medidos en continuo todos los parámetros requeridos para el control permanente de las emisiones a la atmósfera de acuerdo con las Normativas Vigentes.

#### **4.1.1. -Descripción del horno de lecho fluidizado.**

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 (FIGURA Nº4...

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

Características: Cantidad y sequedad del fango a incinerar						
	Condiciones de funcionamiento					
	Unidades	Inferior subdimensionado	Inferior	Nominal	Nominal sobredimensionado	Superior
Carga de fango deshidratado	kg/h	7200	8000	8000	8800	8000
Materia seca (MS)	%	28	28	30	30	34
Materia seca (MS)	kg/h	2016	2240	2400	2640	2720
Materia volátil (MV) en materia seca	% MV/MS	58	58	63	63	68
Poder calorífico inferior de la materia volátil	kcal/kg volátil	5200	5200	5200	5200	5300

Figura 4 17 características de los lodos para su incineración Fuente: EDAR GALINDO

El horno de lecho fluido 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”.



Figura 4 18 esquema del horno de lecho fluidificado Fuente [www.degremont.com/](http://www.degremont.com/)

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.

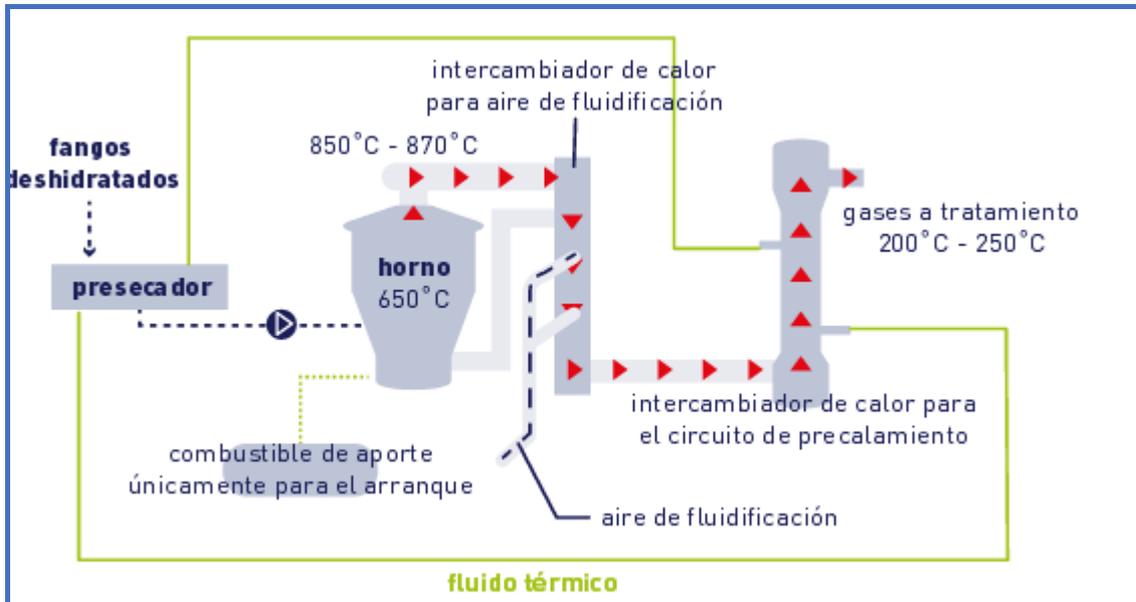


Figura 4 19 esquema del proceso fluidificación Fuente [www.degremont.com/](http://www.degremont.com/)

#### 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 exteriores 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. La alta temperatura del aire precalentado permite tratar lodos con alta humedad sin necesidad de combustible de apoyo (autotermicidad)

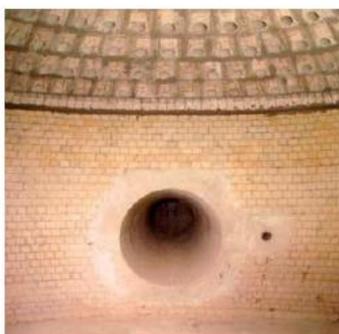


Figura 4 20 ... cámara aire caliente Fuente: [www.degremont.com/](http://www.degremont.com/)

### **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. El aire de fluidificación circulará a través de un precalentador para aumentar su temperatura hasta las condiciones requeridas para la auto combustión del contenido del 6% de oxígeno en los gases y garantizan el caudal de aire necesario para la fluidificación del lecho. 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.



*Figura 4 21 ventilador de alta presión Fuente: [www.degremont.com/](http://www.degremont.com/)*

### **PARRILLA Y MATERIAL REFRACTARIO**

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 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.

### **INYECCIÓN DE LODOS**

El punto de inyección del lodo deshidratado al horno Thermylis está localizado al nivel del lecho de arena. 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 quemados. El lodo es inyectado, a través de una tubería circular que recorre todo el perímetro del horno, por varios puntos, dispuestos de forma simétrica y mediante toberas a través de las paredes del horno con aislamiento refractario

### 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 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 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.

### 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.



Figura 4 22 cúpula refractaria Fuente [www.degremont.com/](http://www.degremont.com/)

### PULVERIZACIÓN DE AGUA E INYECCIÓN DE AGUA AMONÍACAL

El horno dispone de un sistema de aspersion de agua a través de un grupo de boquillas situadas en su techo como seguridad última en el caso de que la temperatura en el “freeboard”(zona de combustión libre) sobrepasara 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 ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) que reacciona con los óxidos de nitrógeno, neutralizándolos.

## RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

### 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 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 bafles interiores.

### 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 energía eléctrica mediante la utilización de una caldera de recuperación de alta presión asociada con una turbina de vapor.

## 4.1.2. Datos de parámetros de caracterización de lodos para su valorización por incineración

PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LOS LODOS PARA SU INCINERACIÓN. Métodos analíticos (Colomer et al 2009)

La legislación actual en la Unión Europea recomienda que los lodos de depuradora de aguas residuales se utilicen como fertilizante. Sin embargo, la presencia de metales pesados puede limitar esta aplicación, lo cual es más probable en caso de lodos de aguas residuales industriales. Por lo tanto, una segunda opción es la recuperación energética de los lodos.

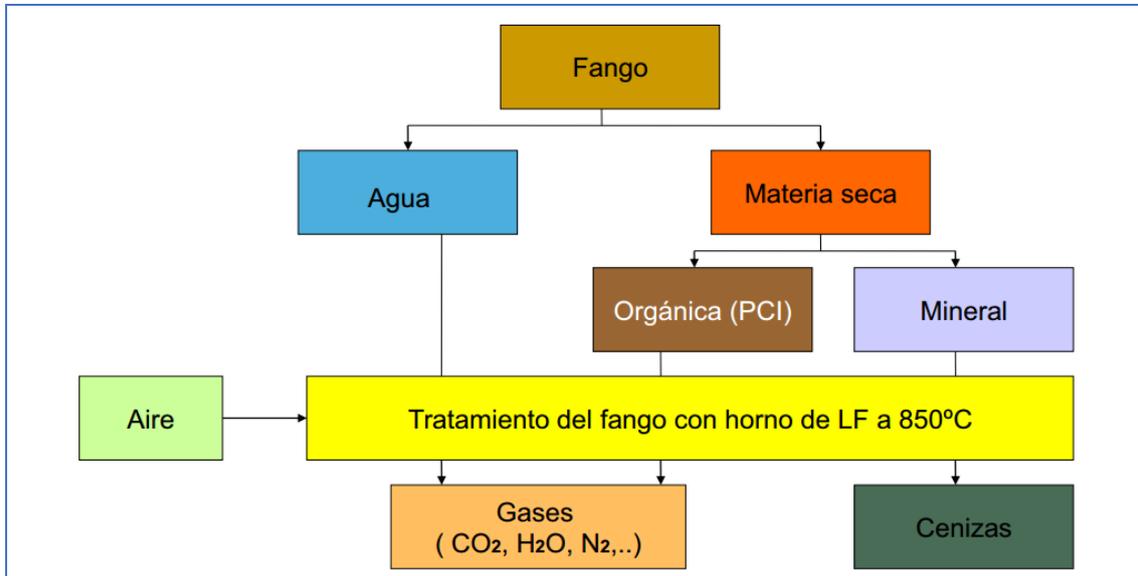


Figura 4 23 esquema tratamiento fango lecho fluidificado.

Independientemente de su destino final de valorización es necesario realizar una caracterización analítica de la materia prima mediante análisis elemental (C, H, O, N y S) además del contenido en carbono orgánico asimilable, metales pesados, PO<sub>4</sub> y potasio. El poder calorífico (Poder Calorífico Inferior) y el contenido en cenizas se determinan para evaluar la posibilidad de recuperación energética. Además, conocer el contenido en metales pesados, Cl, F, C, N y S que es fundamental para estimar las emisiones atmosféricas generadas durante su incineración.

ANÁLISIS BÁSICO	Norma UNE	Norma ISO
Humedad	UNE-EN 14774-3	ISO 5068-1
Materias volátiles	UNE-EN 15148	
Carbono fijo	(calculado)	
Cenizas	UNE-EN 14775	ISO 1171:1997
<b>Análisis elemental</b>		
Carbono	UNE-EN 15104	ISO 16948:2015)
Hidrógeno		
Nitrógeno	UNE-EN 15104	ISO 16948:2015)
Azufre, según	UNE-EN 15289	
Cloro, según	UNE-EN 15289	
Oxígeno	(calculado)	
<b>Análisis energético</b>		
Poder calorífico superior (PCS)	UNE-EN 14918	ISO 1171:1997.
Poder calorífico inferior (PCI)	(calculado)	
<b>Elementos minoritarios</b>		
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn, según	UNE-EN 15297	

Tabla 5 1.-Métodos normalizados para el análisis del lodo previo a su valorización energética

### Contenido en humedad

El contenido en humedad de cada muestra se determinó mediante secado del lodo, siguiendo la norma ISO 5068-1 estándar de método de secado en estufa 60-75°C durante 24-48 horas.

Determinación de la humedad (UNE 32-002 combustibles minerales sólidos: determinación de la humedad de la muestra para análisis). Mediante el secado de los lodos en estufa se determina su humedad. Para ello se sigue el procedimiento descrito en la norma UNE 32-002. Una vez que las distintas muestras están secas se trituran en mortero hasta alcanzar una granulometría de 1-2 mm.



Figura 4 24 .... trituración del lodo Fuente colomer et al 2009

### Método de secado en estufa.

Parte 1: Humedad total. Método de referencia. La determinación del contenido en humedad puede llevarse a cabo con mayor precisión empleando las temperaturas y características de esta norma realizando un análisis termogravimétrico del contenido en humedad.

Procedimiento: Pesaje de la bandeja para la muestra vacía y limpia. Distribución de muestra de forma homogénea en la bandeja y pesaje de la bandeja con la muestra. Pesaje de otra bandeja de referencia vacía y limpia. Si el embalaje de la muestra contiene humedad, se determina mediante la diferencia de peso antes y después del secado a 105°C y se considera dicha masa en los cálculos. Proceso de secado. Colocación de la bandeja con la muestra y la de referencia en la estufa a 105°C .



Figura 4 25 secado en estufa 105°C Fuente:<http://ise.uc3m.es/biolab/humedad-estufa/>

Se mantienen las bandejas en la estufa hasta que la variación de la masa sea inferior a 0,2% en un periodo de 1 h.

Determinación de la masa tras el secado pesando la bandeja con la muestra en menos de 15 s después de sacarla de la estufa.

Determinación de la masa tras el secado pesando la bandeja de referencia en menos de 15 s después de sacarla de la estufa.

Resultados del ensayo. : Contenido en humedad en base húmeda. Y Contenido en humedad en base seca.

### **Contenido en cenizas**

Para conocer el contenido en inquemados de un combustible es necesario determinar el contenido en cenizas. Para ello se aplica la norma ISO 1171:1997, lo cual supone introducir 2 g de muestra en horno mufla durante 60 minutos a 900°C.



*Figura 4 26 horno mufla para conocer el contenido en cenizas.*

### **Análisis elemental C, H, N, UNE-EN 15104**

La determinación del contenido en carbono, hidrógeno y nitrógeno de un combustible es importante para el control de calidad y los resultados pueden emplearse como parámetros de entrada para cálculos referentes a la combustión del mismo. La determinación del contenido en nitrógeno posibilita la estimación de las emisiones de óxidos de nitrógeno y el conocimiento del contenido en carbono permite deducir las emisiones de CO<sub>2</sub> atribuibles al proceso de combustión. Por otro lado, el conocimiento del contenido en hidrógeno es necesario para el cálculo del poder calorífico neto del combustible. Normativa aplicable: UNE-EN 15104 Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido total de carbono, hidrógeno y nitrógeno. Métodos instrumentales.

Determinación del Poder calorífico inferior y superior UNE-EN 14918, ISO 1171:1997

Poder calorífico superior: Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

está condensado y, por consiguiente, se tiene en cuenta el calor desprendido en este cambio de fase.

**Poder calorífico inferior:** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. Es el valor que interesa en los usos industriales, por ejemplo, hornos o turbinas, en los que los gases de combustión que salen por la chimenea o escape están a temperaturas elevadas, y el agua en fase vapor no condensa

**Poder calorífico inferior (PCI) del lodo de la EDAR:** El lodo recibido de la planta de tratamiento no estaba seco y tenía un contenido en humedad elevado (60- 70%). El PCI de un combustible corresponde a la energía liberada por unidad de peso cuando éste es quemado en presencia de oxígeno. Se sigue la norma estándar DIN EN 15170:2009 y ISO 1171:1997. El poder calorífico superior (PCS) se obtiene mediante un calorímetro isoperibólico (PARR 1261 Bomb Calorimeter®). Standard Operating Procedure for the Parr 1261 Bomb Calorimeter. Un Calorímetro Isoperibólico es aquel en el que se mantiene la chaqueta circundante a una temperatura constante mientras que la temperatura de la bomba y la cubeta se elevan a medida que el calor se libera por la combustión. Conociendo el contenido en hidrógeno puede calcularse el PCI.

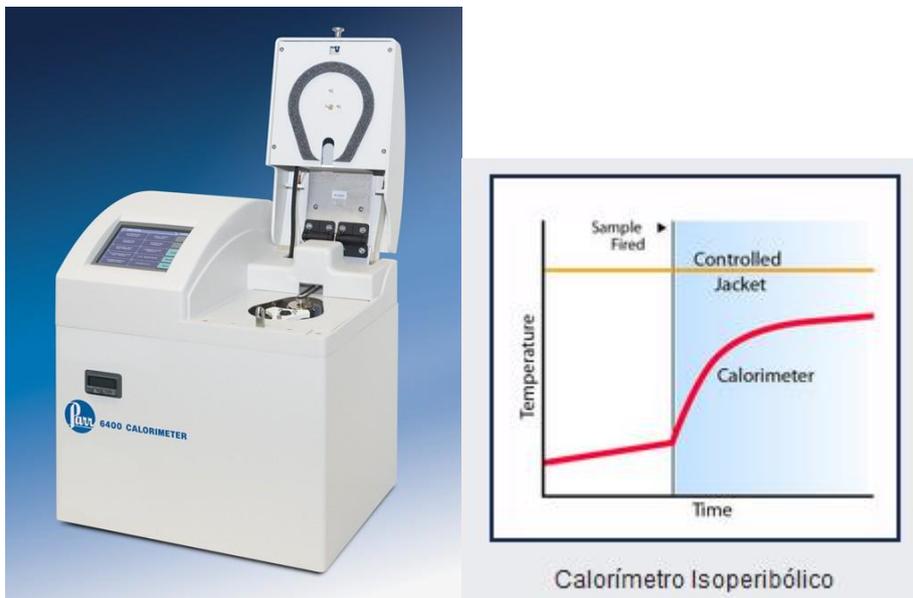


Figura 4 27 calorímetro isoperibólico Fuente [http://www.parrinst.com/es/files/2011/06/6400\\_open-e1308068005318.jpg](http://www.parrinst.com/es/files/2011/06/6400_open-e1308068005318.jpg)

El calorímetro de bomba es el dispositivo más común para medir el calor de combustión o el valor calorífico de un material. Con este aparato, una muestra de prueba de masa especificada se quema en condiciones estandarizadas. El calor de la combustión determinado en estas condiciones se calcula en función del aumento de temperatura observado tomando en cuenta la pérdida de calor.

**PCI útil:** Concepto más útil, que considera el PCI reducido por el calor latente de vaporización de la humedad presente. Si el porcentaje de agua es  $h$ , tendremos

$$PCI_{\text{útil}} = PCI(1-h) - 600h$$
 PCI expresado en kcal/kg

*El poder calorífico aprovechable de un residuo tiende a disminuir con el grado de humedad, punto muy importante cuando hablamos de lodos de depuración.*

Las cargas de residuos de este tipo, con muy poco poder calorífico funcionan más eficientemente si se les añade otros residuos de mayor poder calorífico tales como neumáticos, pallets de madera, etc. O combustibles convencionales.

En cuanto a los fangos de EDAR, su calidad como combustible dependerá de su origen o los procesos a los que se hayan sometido. Así, un lodo primario de EDAR tiene un PCI (en base seca) del entorno de 5200 kcal/kg, *Este PCI no es útil puesto que supone lodo totalmente seco. Un lodo que haya sido digerido anaeróbicamente ha reducido la cantidad de volátiles presentes y será peor combustible, presentando un PCI seco de 3000 kcal/kg.* Dentro de todos los componentes del fango, la parte que mayor PCI presenta son las grasas y aceites, con PCI seco de entorno a los 9300 y PCI útil de 8500 Otras fracciones del lodo son los microorganismos, que no son muy buenos combustibles y los materiales lignocelulosicos.

*Todo ello combinado da lugar a un material cuyo PCI útil es de 2500 kcal/kg aproximadamente.*

## **4.2. Datos analíticos de control parámetros de caracterización de lodos deshidratados de la EDAR Galindo para incineración año 2014.**

### **4.2.1. -Los parámetros de control de lodos deshidratados son:**

Volumen fango valor medio mensual expresado en (T/día)

Contenido de materia seca del fango RST, valores medios mensuales, expresado en (g/Kg)

Contenido de materia volátil del fango RSV, valores medios mensuales, expresado en (%).

**FANGO DESHIDRATADO 2014**

**SOLIDOS Y VOLATILES**

	Fango deshidratado		
	Volumen (Tn/día)	RST (g/Kg)	RSV (%)
Enero	199	327	78

Tabla 4 1 Fango deshidratado 2014.

**4.3. Valores mensuales de contenido en metales pesados en la materia seca de los fangos deshidratados de la EDAR Galindo durante 2014 para su incineración.**

Incluye Metales analizados en una muestra compuesta mensual de Cu (mg/kg MS), Zn (mg/kg MS) Cd (mg/kg MS), Hg (mg/kg MS), Al (mg/kg MS), Pb (mg/kg MS), Cr (mg/kg MS), Mn (mg/kg MS) Fe (mg/kg MS), Ni (mg/kg MS), As (mg/kg MS), Se (mg/kg MS), Sn (mg/kg MS). Valores medios, máximo y mínimo anual de los valores medios mensuales de los metales analizados.

	Cu (mg/kg MS)	Zn (mg/kg MS)	Cd (mg/kg MS)	Hg (mg/kg MS)	Al (mg/kg MS)	Pb (mg/kg MS)
Enero	294	817	7,35	2,95	9.030	140

Tabla 4 2 Metales Pesados.

**4.4. Valores mensuales de fangos deshidratados T incinerados o transportados a vertedero de la EDAR Galindo en los 2 hornos operativos durante 2014.**

Incluye los valores medios mensuales de fangos deshidratados mediante filtros prensa expresado en T que alimentan los hornos y el volumen incinerado en cada uno de ellos. También se controla el Funcionamiento turbinas (Horas) y la cantidad de fango que se lleva al vertedero

2014								
Mes	Fango deshidratado filtros prensa (Tn)	Fango incinerado (Tn)			Funcionamiento turbinas (Horas)			Fango a vertedero. (Tn)
		Horno 1	Horno 2	Total	T1	T2	Total	
enero	5.922	1.879	3.453	5.332	538	0	538	590

Tabla 4 3 Fango 2014.

#### 4.5.- Consumos asociados al proceso de incineración de fangos.

La capacidad máxima de incineración de fangos con recuperación de energía amparada por la autorización AAI se fija en **90.000 T/año**. La Deshidratación de fangos se realiza a través de 5 filtros prensa, cada prensada produce **7,50 t de lodo deshidratado** con una concentración de 28-35% de Materia Seca, de la cual entre el 58-68% es materia volátil MV y el resto de agua. Los lodos deshidratados son lodos mixtos estabilizados con un PCI de la MV de 5200 **kcal/kg** que **dan lugar a un material cuyo PCI útil es de 2500 kcal/kg**.

Características: Cantidad y sequedad del fango a incinerar						
	Condiciones de funcionamiento					
	Unidades	Inferior subdimensionado	Inferior	Nominal	Nominal sobredimensionado	Superior
Carga de fango deshidratado	kg/h	7200	8000	8000	8800	8000
Materia seca (MS)	%	28	28	30	30	34
Materia seca (MS)	kg/h	2016	2240	2400	2640	2720
Materia volátil (MV) en materia seca	% MV/MS	58	58	63	63	68
Poder calorífico inferior de la materia volátil	kcal/kg volátil	5200	5200	5200	5200	5300

Figura 4 28 Características de los fangos deshidratados para valorización por incineración Fuente: EDAR GALINDO Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia.

### 4.5.1. Consumo de energía

*El consumo de energía eléctrica en la línea de tratamiento de fangos asciende a 6.950.000 Kwh.,* siendo su procedencia tanto externa (a través de centros de transformación) como interna (generada en la cogeneración) .

La potencia instalada en la línea de tratamiento de fangos es de **6.950 kW** en el edificio industrial. En la línea de tratamiento de fangos además de los propios lodos del sistema de depuración de la EDAR se consumen materias auxiliares en la deshidratación/valorización/cogeneración (sosa cáustica, ácido clorhídrico, hipoclorito sódico), en la depuración de emisiones (hidróxido amónico), en el espesamiento de fangos (polielectrolito catiónico), y en operaciones de mantenimiento (aceites).

La **cogeneración** está formada por dos motogeneradores de 3.535 Kwh cada uno, alimentados con Gas Natural, y una turbina de vapor de 2.071 Kwh máximo, que emplea el vapor sobresaturado obtenido en la caldera de recuperación del sistema de Valorización de lodos.

El tiempo de funcionamiento de las turbinas en los hornos se expone en la tabla nº4-5

Mes	Funcionamiento turbinas (Horas)		
	T1	T2	Total
enero	538	0	538
febrero	636	0	636
marzo	672	347	1.019
abril	520	586	1.106
mayo	644	266	910
junio	682	480	1.162
julio	592	490	1.082
agosto	225	628	853
septiembre	627	0	627
octubre	28	699	727
noviembre	168	666	834
diciembre	0	670	670
<b>TOTAL</b>	<b>5.332</b>	<b>4.832</b>	<b>10.164</b>

Tabla 4 4 Tiempo de funcionamiento de Turbinas. Fuente: EDAR GALINDO Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia.

En esta cogeneración se aprovecha el calor de los gases de escape de la combustión de fangos para calentar el Fluido Térmico y obtener vapor en una caldera de recuperación (6 t/h), además de la generación de energía eléctrica por los alternadores, la cual se consume en la planta o, en caso de excedentes, se vende a la Red Eléctrica. **La potencia instalada en el edificio de generación/cogeneración es de 15.000 kW y el consumo de gas de 9.549.500 Nm<sup>3</sup> en la instalación de cogeneración.** Los hornos están alimentados con gas natural. El consumo en el año 2006 de gas natural es de 4.070.999 Nm<sup>3</sup>.

La nueva instalación de valorización Horno nº3 con una capacidad de 8 T/h, es auto térmica para condiciones normales de entrada del lodo, de modo que no es necesaria la adición de ningún combustible adicional para que se dé el proceso de combustión del lodo. La instalación, es energéticamente autónoma. Por un lado, genera la energía térmica suficiente para garantizar la autotermicidad y por otro lado, se realiza un aprovechamiento energético secundario, que hace posible la autonomía eléctrica. El consumo eléctrico de la instalación es cercano a los 600 kW/h y se generan más de 700 kW/h.

#### **4.5.2. Consumo de Agua**

El consumo de agua en la línea de tratamiento de fangos procede de la red de abastecimiento para la reposición de las purgas en la caldera (consumo de 3.650 m<sup>3</sup>/año). Asimismo, se utiliza agua tratada en la planta de tratamiento de aguas para la refrigeración en el condensador de la turbina de vapor (consumo de 178.000 m<sup>3</sup>/año).

#### **4.5.3. Consumo de reactivos del proceso**

. En la línea de tratamiento de fangos además de los propios lodos del sistema de depuración de la EDAR se consumen materias auxiliares en la deshidratación/valorización/cogeneración (sosa cáustica, ácido clorhídrico, hipoclorito sódico), en la depuración de emisiones (hidróxido amónico), en el espesamiento de fangos (polielectrolito catiónico), y en operaciones de mantenimiento (aceites).

### **4.6. Aspectos ambientales a considerar: emisiones a la atmósfera, efluentes y residuos.**

Todos los aspectos ambientales a considerar y su control están detallados en los anexos 7.1 y 7.2.

La Depuración de humos de los hornos se realiza en 2 fases, fase seca (precipitador electrostático electrofiltro) donde se retienen las partículas de polvo y la Fase húmeda: A la salida del electrofiltro se ha instalado un lavado húmedo de los gases en dos torres de lavado mediante cortinas de disolución química de hidróxido sódico. El proceso se basa en las reacciones de neutralización de los gases ácidos (HCl, SO<sub>2</sub> y HF).

***Las emisiones a la atmósfera generadas en la línea se encuentran asociadas a 11 focos de emisión*** (10 sistemáticos y 1 no sistemático), que se corresponden con los 3 hornos de incineración, cuatro motores-generadores, dos calderas de secado, una caldera de recuperación, y un by-pass de caldera. Los focos asociados a los hornos cuentan con filtros electrostáticos, lavador húmedo, reducción catalítica de HCl, HF y SO<sub>2</sub>, reducción de NOX mediante inyección de aguas amoniacales, y sistema de eliminación de humedad en los humos (calentamiento de humos, mediante intercambiador de calor, a 135 °C, después del lavado húmedo, antes de su salida por chimenea).

***Los efluentes generados en la línea de tratamiento de fangos*** son las aguas de purgas de la caldera, y aguas de refrigeración del condensador de la turbina de vapor, que se tratan en la Estación Depuradora de Aguas Residuales, previo a su vertido a través de un único punto de vertido al mar.

***Los principales residuos peligrosos generados son los aceites, entre otros residuos derivados de servicios generales, y los principales residuos no peligrosos son los fangos y las cenizas de la valorización de fangos.*** Las purgas de los compresores se autogestión dentro de la Estación Depuradora de Aguas Residuales.

**4.6.1. Condiciones para la protección de la calidad del aire:  
 Identificación de los focos. Catalogación. Valores límite de  
 emisión Real Decreto 653/2003 de 30 de mayo. Programa de  
 vigilancia ambiental.**

PARÁMETRO	HORNO 1	HORNO 2	LÍMITE	
			100%	97%
COT (mg/Nm <sup>3</sup> )	5,4	5,2	20	10
FH (mg/Nm <sup>3</sup> )	<1,9	<2	4	2
CIH (mg/Nm <sup>3</sup> )	<2,7	<2,6	60	10
NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )	217,1	200,3	400	200
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	<6,8	<7,3	100	--
Partículas sólidas (mg/Nm <sup>3</sup> )	<8,5	<9,5	30	10
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	<17,2	<27,3	200	50
Sh (mg/Nm <sup>3</sup> )	<0,012	<0,013		
Cd + T (mg/Nm <sup>3</sup> )	0,0029	0,0029	0,05	
Hg (mg/Nm <sup>3</sup> )	0,004	0,006	0,5	
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V mg/Nm <sup>3</sup> )	0,038	0,033		
Dioxinas y furanos (mg/Nm <sup>3</sup> )	0,0432	0,0133	0,1	

Figura 4 29 Emisiones atmosfera 2006. Fuente: EDAR GALINDO Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia.

De acuerdo con el Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos, las emisiones de sustancias contaminantes en los gases generados en la combustión del fango deshidratado tienen que ser inferiores a los siguientes límites (Figura nº:4-30).

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

Contaminante	Valor diario
Cd, Tl	Total 0,05 mg/Nm <sup>3</sup>
Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	Total 0,05mg/NM <sup>3</sup>
Dioxinas y furanos	0,1 ng/m <sup>3</sup>

Contaminante	Valor diario	Valor medio horario
CO	50mg/Nm <sup>3</sup>	100mg/Nm <sup>3</sup>

Contaminante	Valor diario(mg/Nm <sup>3</sup> )	100%A (mg/Nm <sup>3</sup> )	97%B(mg/Nm <sup>3</sup> )
Partículas totales	10	30	10
COT	10	20	10
HCl	10	60	10
FH	1	4	2
SO <sub>2</sub>	50	200	50
NO <sub>x</sub>	200	400	200

Figura 4 30 Limite de emisiones. Según RD 653/2003 de 30 de mayo. Fuente: AAI DE LA EMPRESA , Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo

Cada uno de los hornos dispone de equipos de medida en continuo. Los valores registrados se transmiten en tiempo real al Centro de Control de Calidad del Aire del Gobierno Vasco.





## 5. Resultados y discusión.

Para poder presentar una alternativa viable a la valorización de lodos procedentes de depuradoras urbanas diferente a su valorización energética con producción de biogás o aplicación directa a suelos agrícolas, se ha elegido como ejemplo el proceso **Valorización Energética de Lodos en la EDAR de Galindo del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia**. La E.D.A.R Galindo sirve a una población equivalente de 1.380.000 habitantes estando dimensionada para tratar 1.642.000 hab/equ.

Se depuran al día 350.000 metros cúbicos de aguas residuales mediante un sistema de tratamiento convencional de fangos activos que generan 60.000t de fangos al año. Los fangos deshidratados se almacenan en 2 silos de 200 t./ c.u.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos del proceso de incineración de lodos a partir de los datos facilitados por Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia de la EDAR GALINDO. En el apartado 5.1 se presentan los datos de los fangos generados por la planta que son deshidratados previo a su incineración

### 5.1. Evolución de parámetros de control de lodos EDAR GALINDO 2014 previo a la incineración

#### 5.1.1. Volumen de fangos generados en la EDAR Galindo año años 2005, 2006, 2007 y 2014.

año	fango t/año Edar Galindo
2005	78201
2006	80218
2007	46741
2014	68221

Tabla5 2 Volumen de fangos generados en la EDAR Galindo. Fango EDAR Galindo en años 2005-2014. Datos de Fangos anuales producidos Edar Galindo. Los valores del año 2007 corresponden sólo al periodo enero-junio.

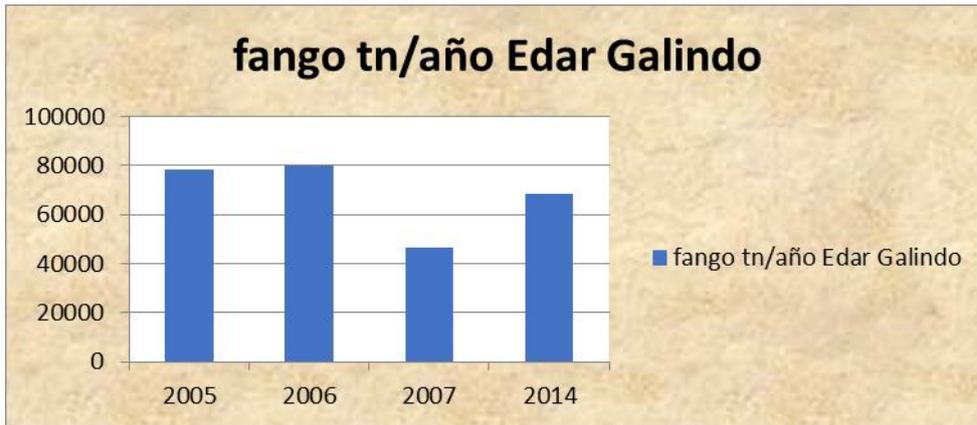


Figura 5 1Fango T/año EDAR Galindo.

### 5.1.2. Evolución mensual de la producción de fangos, estacionalidad año 2014.

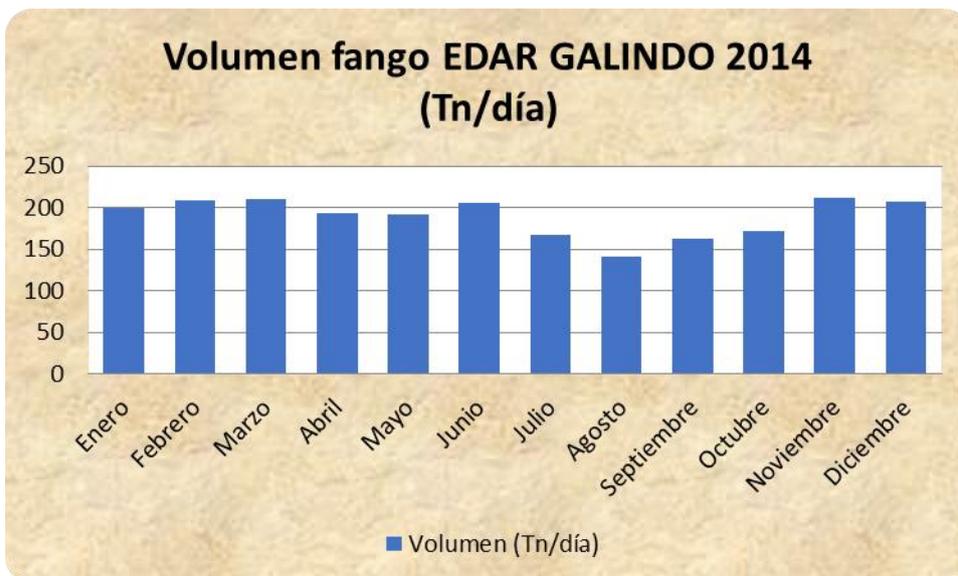


Figura 5 2 Volumen fango EDAR Galindo 2014.

Tal y como se observa en la figura nº5-2 .se produce una estacionalidad en los fangos producidos, siendo la estación estival la que registra una menor producción de fangos como consecuencia del menor volumen de agua residual tratada en ese periodo.

### 5.1.3. Características de los fangos generados EDAR Galindo para su incineración.

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 (Relea,2010) se puede aprovechar una fracción de la misma, la materia orgánica o volátil (MV) que tiene un poder calorífico útil (PCI) En la tabla nº5.1.3.1.-..... Se especifica la composición del lodo mensual generado en la planta durante el año 2014, su materia seca expresada como g/Kg y su contenido en materia volátil en % de la materia seca. Se producen un total de 68.850 T/año de fangos deshidratados, con un valor medio de 190 T/día

FANGO DESHIDRATADO 2014			
SOLIDOS Y VOLATILES			
	Fango deshidratado		
	Volumen (T/día)	RST (g/Kg)	RSV (%)
Enero	199	327	78
Febrero	209	332	78
Marzo	211	336	74
Abril	194	317	82
Mayo	192	338	83
Junio	206	313	83
Julio	168	336	80
Agosto	142	355	82
Septiembre	163	346	81
Octubre	171	339	84
Noviembre	212	330	80
Diciembre	208	327	76
<b>PROMEDIO</b>	<b>190</b>	<b>333</b>	<b>80</b>

Tabla 5 3.... Contenido en materia seca y volátil de lodos mensuales producidos en 2014

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

En la figura nº 5-3. Se representa la evolución mensual de la materia seca de los lodos producidos en la E.D.A.R Galindo durante el año 2014

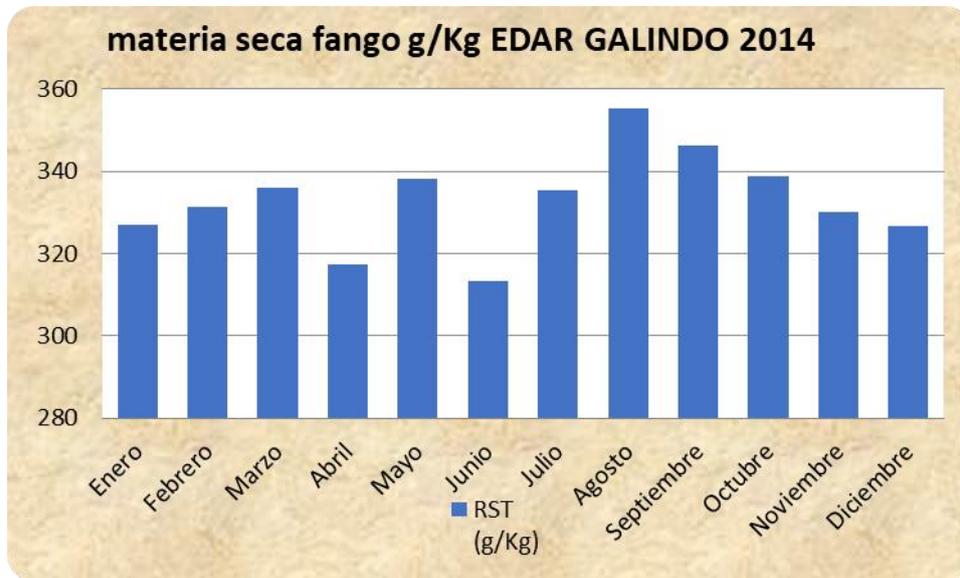


Figura 5 3 materia seca fango EDAR Galindo 2014.

Si bien en la época estival hay menos producción de fangos, estos contienen una mayor cantidad de materia seca, posiblemente como se trata de la época seca el menor aporte de la escorrentía pluvial genera fangos más concentrados, no afectando a su posterior valorización energética. El valor medio mensual de La materia seca de los fangos del año 2014 es de 333 g/kg, alcanzando su valor máximo en agosto con 355 g/kg, que coincide con el mes más seco.

En la figura nº 5-4 Se representa la evolución mensual de la materia volátil de los lodos producidos en la Edar Galindo durante el año 2014

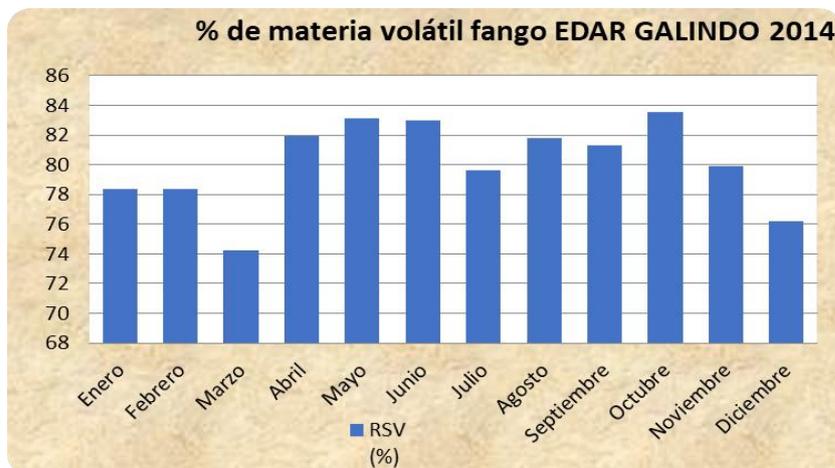


Figura 5 4 materia volátil fango EDAR GALINDO 2014.

Figura nº5-4. Los valores medios mensuales de la materia volátil de los fangos de la EDAR GALINDO expresada en % de la materia seca para el año 2014, con un mínimo en el mes de marzo. Los meses más húmedos presentan menos cantidad de materia seca y menor cantidad de materia volátil para su posterior valorización. En el periodo seco, época estival, el % de materia volátil es del 80% ms.

Como consecuencia de dicha estacionalidad, Las 3 líneas de valorización de la EDAR GALINDO no funcionan conjuntamente, siempre se deja un horno de reserva. En verano que hay menor producción funcionan los hornos 1 y 2 con una capacidad total de 12 T/h, en el resto del año funcionan el horno 2 y 3 con una capacidad de 16 t/h.

#### **5.1.4. Datos de los parámetros de diseño del sistema valorización de lodos EDAR Galindo periodo 2006-2007.**

El objetivo de la incineración de residuos, común a la mayoría de tratamientos de residuos, es tratar los residuos con el fin de reducir su volumen y peligrosidad, capturando (y por lo tanto concentrando) o destruyendo las sustancias potencialmente nocivas. Los procesos de incineración también pueden ofrecer un medio que permita la recuperación del contenido energético, mineral o químico de los residuos. La incineración de lodos con horno de lecho fluido es la forma más eficiente de tratamiento (Degremont 2010) térmico de éstos y presenta la ventaja de tratar los lodos donde se generan y producir calor, o electricidad útil.

Valorización Energética de Lodos en la EDAR de Galindo del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia			
datos de diseño			
		horno 1	horno2 y 3
Capacidad de tratamiento		4T/h	8/t/h
Poder calorífico de la materia volátil	5.160 Kcal/kg		
Poder calorífico del gas	9.000 Kcal/Nm3		
Temperatura combustión	900°C		
Sequedad del fango	35%		
Materia volátil	64%		
Temperatura aire fluidificación	150°C		
Temperatura máxima	1050°C		
Volumen cuba (m3)		51,4	147,5
Diámetro (m)		4	5,5
Caudal aire fluidificación (Nm3/h)		8.630	16.833
Caudal gases (Nm3/h)		12.449	24.509
Consumo específico de gas (Nm3/T MS)		51,4	51,4
Tiempo residencia de los gases (sg)		3,5	5

Tabla5 4 Datos diseño sistema valorización de lodos 2006 EDAR Galindo

### 5.1.5. -Valores mensuales de contenido en metales pesados en la materia seca de los fangos deshidratados de la EDAR Galindo durante 2014 para su incineración.

La valorización energética de lodos de depuración mediante incineración es hoy en día una realidad viable que no tiene porqué comportar problemas ambientales si se aplican adecuadamente Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea (Documento BREF, 2011) para Incineración de Residuos. Los lodos producidos en el sistema de depuración de algunas ciudades son en parte urbanos, y también de origen industrial, que los hace inapropiados para su utilización agrícola al contener metales pesados y otros contaminantes. En las tablas 5-4 y 5-

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN  
ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION

5 se detallan los metales medidos en los fangos deshidratados generados en la EDAR Galindo durante el año 2014 cuyos valores medios mensuales se expresan en mg/kg MS)

	Cu (mg/kg MS)	Zn (mg/kg MS)	Cd (mg/kg MS)	Hg (mg/kg MS)	Al (mg/kg MS)	Pb (mg/kg MS)
<b>Enero</b>	294	817	7,35	2,95	9.030	140
<b>Febrero</b>	276	567	4,85	3,00	9.060	93
<b>Marzo</b>	239	570	3,10	2,15	11.900	90
<b>Abril</b>	233	546	2,65	2,75	8.045	83
<b>Mayo</b>	212	499	15,00	2,20	7.830	65
<b>Junio</b>	196	573	4,00	1,90	7.910	71
<b>Julio</b>	243	711	6,80	2,10	8.610	92
<b>Agosto</b>	253	571	4,95	2,30	5.850	101
<b>Septiembre</b>	225	606	3,20	1,90	7.800	78
<b>Octubre</b>	201	465	2,95	1,65	6.935	63
<b>Noviembre</b>	311	563	8,10	1,73	6.480	92
<b>Diciembre</b>	286	658	6,00	2,73	6.980	87
<b>MEDIA</b>	<b>247,3</b>	<b>595,3</b>	<b>5,7</b>	<b>2,3</b>	<b>8.035,8</b>	<b>87,8</b>
<b>MAXIMO</b>	<b>311,0</b>	<b>816,5</b>	<b>15,0</b>	<b>3,0</b>	<b>11.900,0</b>	<b>140,0</b>
<b>MINIMO</b>	<b>196,0</b>	<b>465,0</b>	<b>2,7</b>	<b>1,7</b>	<b>5.850,0</b>	<b>62,9</b>

Tabla 5. Metales analizados en una muestra compuesta mensual de Cu (mg/kg MS) Zn (mg/kg MS) Cd (mg/kg MS) Hg (mg/kg MS) Al (mg/kg MS) Pb (mg/kg MS)

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN  
ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION

	Cr (mg/kg MS)	Mn (mg/kg MS)	Fe (mg/kg MS)	Ni (mg/kg MS)	As (mg/kg MS)	Se (mg/kg MS)	Sn (mg/kg MS)
<b>Enero</b>	96,5	170	9.160	35,50	4,35	3,79	140,00
<b>Febrero</b>	91,0	135	7.625	30,00	3,90	4,05	120,00
<b>Marzo</b>	130,0	185	10.500	40,00	1,80	3,81	135,00
<b>Abril</b>	130,0	110	6.760	32,00	1,90	3,14	135,00
<b>Mayo</b>	125,0	105	6.430	29,50	2,10	3,66	125,00
<b>Junio</b>	160,0	130	7.275	46,50	1,90	4,36	120,00
<b>Julio</b>	145,0	180	9.760	41,00	3,70	4,29	120,00
<b>Agosto</b>	145,0	120	10.250	45,50	1,90	9,47	190,00
<b>Septiembre</b>	140,0	130	8.710	36,00	3,00	6,15	130,00
<b>Octubre</b>	130,0	97	6.395	29,00	2,35	7,07	120,00
<b>Noviembre</b>	140,0	150	8.410	33,00	1,15	6,08	120,00
<b>Diciembre</b>	150,0	160	9.810	39,00	3,24	4,89	130,00
<b>MEDIA</b>	<b>131,9</b>	<b>139,3</b>	<b>8.423,8</b>	<b>36,4</b>	<b>2,6</b>	<b>5,1</b>	<b>132,1</b>
<b>MAXIMO</b>	<b>160,0</b>	<b>185,0</b>	<b>10.500,0</b>	<b>46,5</b>	<b>4,4</b>	<b>9,5</b>	<b>190,0</b>
<b>MINIMO</b>	<b>91,0</b>	<b>97,0</b>	<b>6.395,0</b>	<b>29,0</b>	<b>1,2</b>	<b>3,1</b>	<b>120,0</b>

Tabla 5.6 Metales analizados en una muestra compuesta mensual de Cr (mg/kg MS) Mn (mg/kg MS) Fe (mg/kg MS) Ni (mg/kg MS) As (mg/kg MS) Se (mg/kg MS) Sn (mg/kg MS)

En base a los datos de la edar EDAR de Galindo y en conformidad con su AAI se controlan mensualmente 13 metales en los fangos expresados en mg/kg MS Cu , Zn, Cd ,Hg ,Al ,Pb , Cr, Mn,)Fe ,Ni ,As ,Se y Sn . Los valores mensuales medios más altos corresponden a Al con 11.900 mg/kg MS , Fe con 10.500 (mg/kg MS), Zn 816,5 mg/kg MS y los más bajos a Hg 2,3 mg/kg MS , As 2,6 mg/kg MS , Se 5,1 mg/kg MS Cd 5,7 mg/kg MS

Los valores más altos registrados corresponden a Al y Fe, (fig.5.1) pero se trata de dos metales no especificados como parámetros de control por la legislación para su aplicación en el suelo. Hay que añadir además que estos metales forman parte de sustancias químicas usadas como coagulantes-floculantes en el tratamiento de aguas.

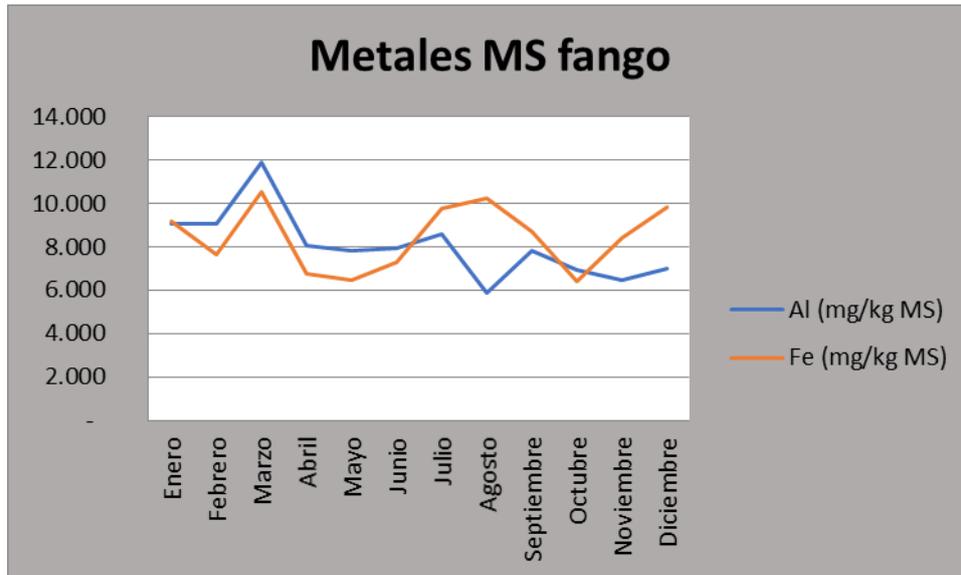


Grafico 5.1 Evolución mensual de metales Al, Fe en el fango Edar Galindo año 2014

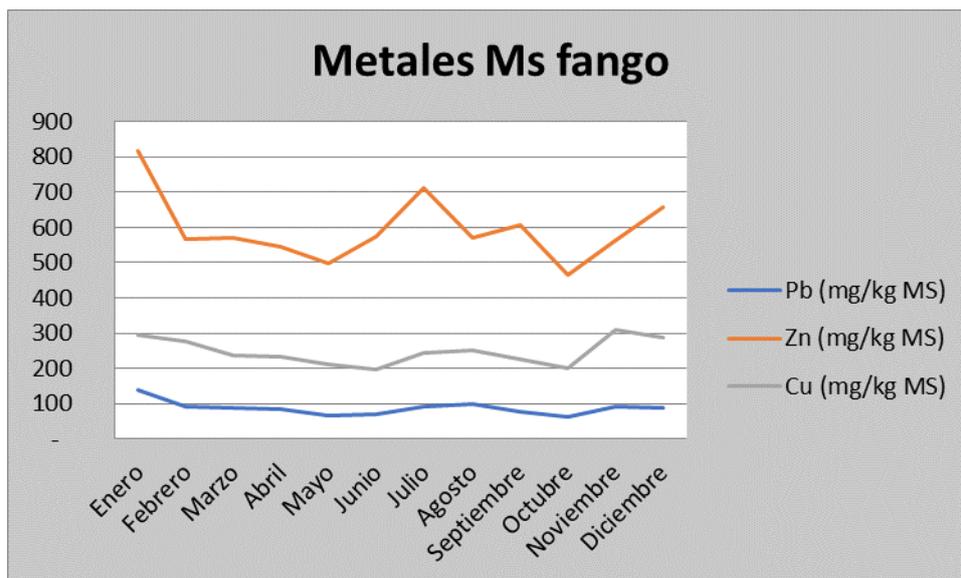


Grafico 5.2 Evolución mensual de metales Pb, Zn, Cu en el fango Edar Galindo año 2014.

Zn *mg/kg MS* valor medio mensual 595,3 máx 816,5 y mín 465,0 está por encima del límite compost etiqueta eco (50 *mg/kg*). Pb *mg/kg MS* valor medio mensual 87,8 máx 190,0 mín 62,9 está algunos meses por encima del límite compost etiqueta eco (100 *mg/kg*) lo mismo le sucede al cobre Cu *mg/kg MS* valor medio mensual 247,3 máx 311,0 mín 196,0 límite compost etiqueta eco (100 *mg/kg*)

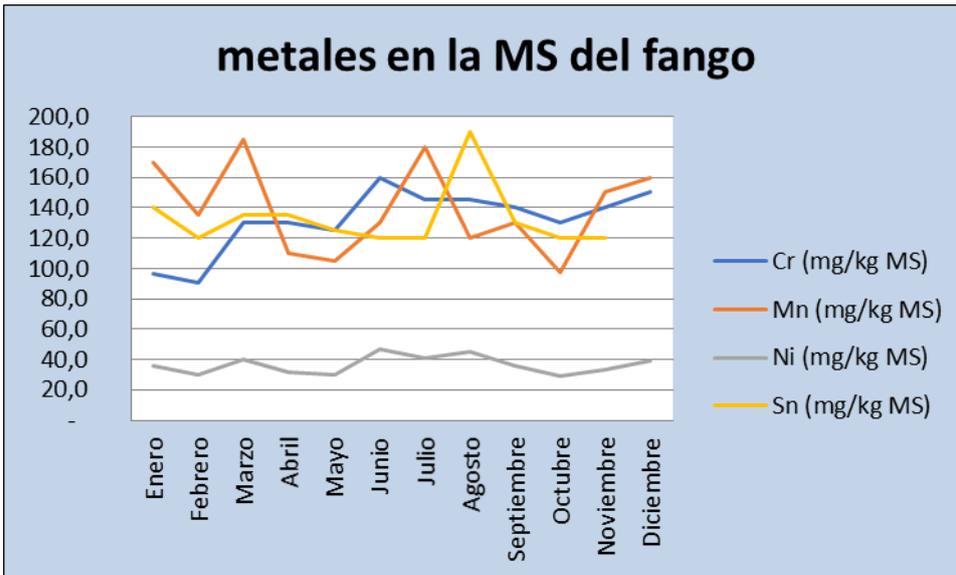


Grafico 5 3-Evolución mensual de metales Cr, Ni, Mn, Sn en el fango Edar Galindo año 2014.

El Cr (mg/kg MS) *valor medio* mensual **131,9** máx **160,0** mín **91,0** supera el límite compost etiqueta eco (**100 mg/kg**), el Ni(mg/kg MS) *valor medio* mensual **36,4** máx **46,5** mín **29,0** supera el límite compost etiqueta eco (**50 mg/kg**). Mn y Sn no aparecen como parámetros de referencia.

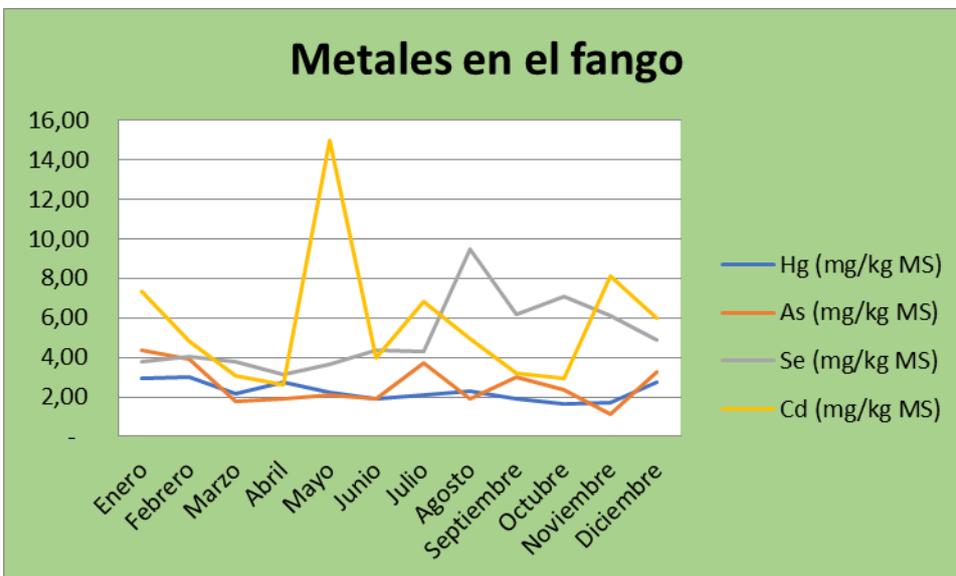


Grafico 5 4 Evolución mensual de metales Hg, As, Se, Cd en el fango Edar Galindo año 2014

Los metales Hg, As, Se sólo están tipificados en la USEPA pero sus valores medios, mínimos y altos estan por debajo de los límites establecidos. El Cd (mg/kg MS) *valor medio* mensual **5,7** máx **15** mín **2,7** supera el límite compost etiqueta eco (**1mg/kg**)

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

El II Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales recomienda como opción más favorable desde el punto de vista ambiental, la utilización de los lodos como enmienda orgánica en agricultura una vez que se han compostado (Colomer et al 2009). No obstante, la posibilidad de encontrar elementos tóxicos o metales pesados en estos lodos, obliga a realizar análisis frecuentes previos al vertido en terreno agrícola para cumplir con el anexo 1C DEL Rd 1310/1990, En caso de encontrar contenidos elevados de metales pesados o sustancias tóxicas, la incineración con recuperación de energía, descartando la biometanización sería la opción más recomendable.

Si bien los valores de metales de lodos de la Edar Galindo cumplen Anexo 1B DEL Rd 1310/1990, (FIGURA 5.5 ) no garantiza 1C y no lo hacen cuando nos referimos a los valores de compostaje etiqueta eco referidos en la figura 5.6 que usa como referencia los Límites para las concentraciones de metales y metaloides en lodos fecales tratados (biosólidos) que se aplicarán en la tierra, en Estados Unidos y Europa ( figura5.6).

<b>ANEXO I B</b>		
<b>Valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria</b>		
<b>(mg/kg de materia seca)</b>		
Parámetros	Valores límite	
	Suelos con Ph menor de 7	Suelos con Ph mayor de 7
Cadmio .....	20	40
Cobre .....	1.000	1.750
Níquel .....	300	400
Plomo .....	750	1.200
Zinc .....	2.500	4.000
Mercurio .....	16	25
Cromo .....	1.000	1.500

Figura 5.5 Anexo 1B DEL Rd 1310/1990 aplicación lodos depuradora en agricultura. Valores límites metales pesados mg/Kg materia seca

Parámetro	Límite (mg/kg)		
	Biosólidos de 'calidad excepcional' (USEPA, 1999)	Compost 'etiqueta eco' (Hogg et al., 2002)	España (Hogg et al., 2002)
Arsénico (As)	41		
Mercurio (Hg)	17		
Hierro (Fe)	no medible	–	–
Plomo (Pb)	300	100	750
Níquel (Ni)	420	50	300
Cromo (Cr)	1.200	100	1.000
Cadmio (Cd)	39	1	20
Cobre (Cu)	1.500	100	1.000
Zinc (Zn)	2.800	50	2.500
Selenio (Se)	36	–	–

Figura 5.6 Valores de metales pesados mg/Kg materia seca para biosólidos USEPA 1999, compost etiqueta ECO 2002 y Legislación española Fuente libro lodos fecales 2014

Según el estudio de CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS DE DEPURADORAS GENERADOS EN ESPAÑA (2009) elaborado por el CEDEX, La calidad de los lodos varía conforme a la composición del agua residual. - Los lodos son una excelente fuente de nutrientes pero se debe tener en cuenta la dosificación para evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. En general el contenido en metales pesados y contaminantes orgánicos está por debajo de los límites que establecía la última propuesta de revisión de la Directiva. Los casos en que se superan están relacionados con aportes Industriales. -

## 5.2. -Evolución de parámetros de control del residuo valorizado EDAR GALINDO 2014.

Cuando el tratamiento final de los lodos es la incineración o la coincineración, además de cumplir con lo establecido en la Ley 22/2011, de 28 de julio, se debe cumplir con lo establecido en el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. Valores mensuales de fangos deshidratados T incinerados o transportados a vertedero de la EDAR Galindo en los 2 hornos operativos durante 2014

Los fangos generados en la Edar Galindo son deshidratados en filtros prensa y posteriormente almacenados en de 200 t./c.u. para alimentar los hornos de lecho fluidificado. En la tabla 5.5. se especifican los datos referidos a las toneladas mensuales de fango deshidratado que se generan mensualmente en la EDAR Galindo correspondientes al año 2014 y las toneladas de

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

fangos que alimentan los Hornos LFnº1 y LF nº2, así como las toneladas de fangos mensuales que se envían al vertedero.

2014								
Mes	Fango deshidratado filtros prensa (T)	Fango incinerado (T)			Funcionamiento turbinas (Horas)			Fango a vertedero. (T)
		Horno 1	Horno 2	Total	T1	T2	Total	
enero	5.922	1.879	3.453	5.332	538	0	538	590
febrero	5.850	2.114	3.618	5.732	636	0	636	118
marzo	6.543	2.166	4.377	6.543	672	347	1.019	0
abril	5.823	1.701	4.122	5.823	520	586	1.106	0
mayo	5.949	2.257	3.692	5.949	644	266	910	0
junio	6.174	2.092	4.082	6.174	682	480	1.162	0
julio	5.193	1.954	3.134	5.088	592	490	1.082	105
agosto	4.392	1.329	2.775	4.104	225	628	853	288
septiembre	4.878	2.380	261	2.641	627	0	627	2.237
octubre	5.310	101	4.650	4.752	28	699	727	558
noviembre	6.372	860	5.096	5.956	168	666	834	416
diciembre	6.444	980	4.917	5.897	0	670	670	547
<b>TOTAL</b>	<b>68.850</b>	<b>19.811</b>	<b>44.178</b>	<b>63.989</b>	<b>5.332</b>	<b>4.832</b>	<b>10.164</b>	<b>4.861</b>

Tabla 5 7 Fangos 2014.

De las 68.850 T de fangos deshidratados se incineran 63.989 T las 4861 restantes se envían al vertedero, de las que 19.811 se incineran en el horno LF nº1 y 44.178 en el horno LF nº2.

En la misma tabla aparece asociado al funcionamiento de los hornos el tiempo de funcionamiento de las turbinas en horas del sistema de cogeneración asociado a cada horno. En esta cogeneración se aprovecha el calor de los gases de escape de la combustión de fangos para calentar el Fluido Térmico y obtener vapor en una caldera de recuperación (6 t/h). **La cogeneración** está formada por dos motogeneradores de 3.535 Kwh cada uno, alimentados con Gas Natural, y una turbina de vapor de 2.071 Kwh máximos, que emplea el vapor sobresaturado obtenido en la caldera de recuperación del sistema de Valorización de lodos

### 5.3. Poder calorífico del lodo y balance energético.

Los parámetros de diseño de los hornos 1 y 2 de la EDAR de Galindo (Tabla 5-3) , publicados y correspondientes al año 2006 son:

- Poder calorífico de la materia volátil ..... 5.160 kcal/kg

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

- Poder calorífico del gas natural ..... 9.000 (PCI) kcal/Nm<sup>3</sup>
- Combustión a 900 °C y 5 mbar de depresión

Para ayudar a la combustión, manteniendo el proceso estable, se inyecta una mezcla de aire y gas por seis lanzas situadas en la parte inferior de la cuba. El operador regula el caudal de gas suministrado para mantener la temperatura del hogar entre 850 °C y 950 °C. Este caudal depende de la humedad del fango.

Desde enero de 2015, existe un tercer horno con una capacidad de 8 T/h (Orbe et al 2015; Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia) que consigue las condiciones de autotermicidad . La instalación, es energéticamente autónoma. Por un lado, genera la energía térmica suficiente para garantizar la autotermicidad y por otro lado, se realiza un aprovechamiento energético secundario, que hace posible la autonomía eléctrica.

Los parámetros de autotermicidad del horno LFn<sup>º</sup>3 de la Edar Galindo se describen en la tabla 5.6

AUTOTERMICIDAD	HORNO N <sup>º</sup> 3
<b>deshidratación lodos%</b>	<b>35%</b>
<b>El porcentaje de la MV respecto a la MS</b>	<b>64%</b>
<b>PCI de la MV</b>	<b>5200 kcal/kg</b>
<b>PCI útil</b>	<b>2500 kcal/kg.</b>
<b>Temperatura de aire de fluidificación</b>	<b>400-650°C</b>
<b>combustión de entrada al horno</b>	<b>900°C</b>

Tabla 5.6 PARÁMETROS DE AUTOTERMICIDAD Horno n<sup>º</sup>3 Edar Galindo 2015

Tal y como se refleja en la figura 5.7 La autotermicidad depende 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 y - El PCI de la MV

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

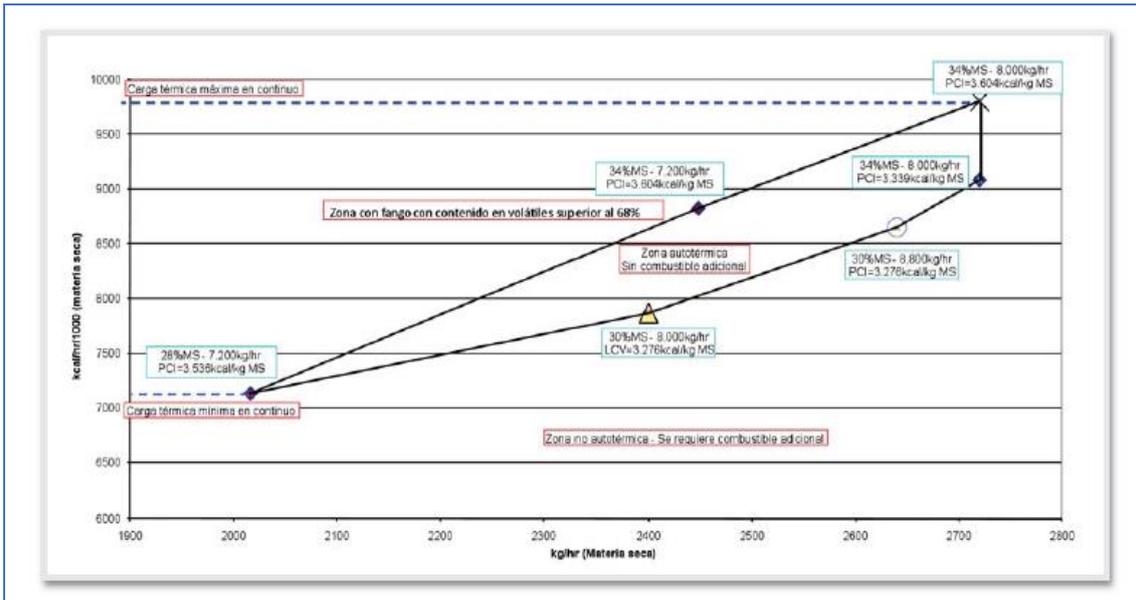


Figura 5.7 Autotermicidad. Fuente: Nueva instalación de valorización de lodos de la EDAR de Galindo REVISTA RETEMA OCTUBRE 2015. [www.retema.es](http://www.retema.es)

En la figura nº5.8 se puede observar como la sequedad del fango , su % mv/ms y su PCI determinan la temperatura del aire de fluidificación necesario en el horno ( Iñáqui del campo)

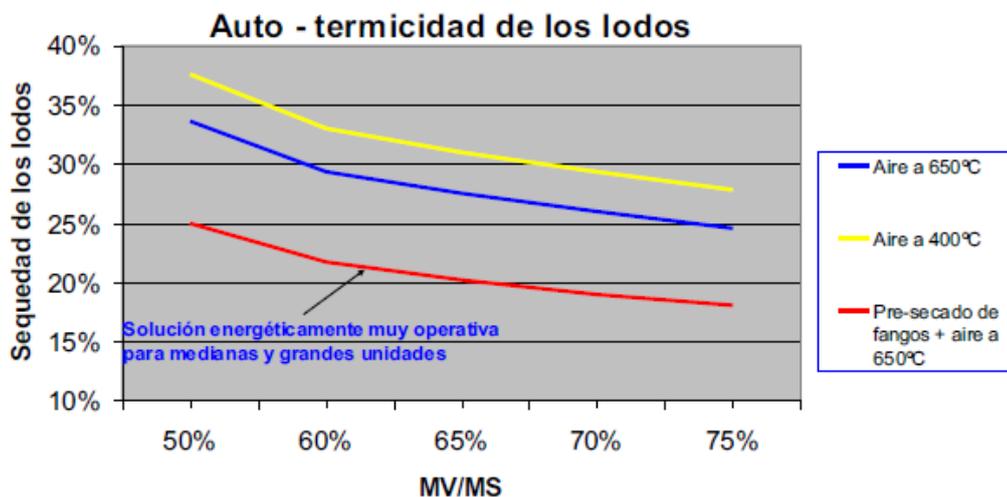


Figura 5.8..... autotermicidad de los lodos Fuente : Iñáqui del Campo, Degremont.

**BALANCE DE CALOR DEL PROCESO.BALANCE TÉRMICO**

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

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

capaces de mantener como mínimo esta temperatura de combustión. Como el combustible entrante a los hornos nº1 y nº2 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. 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. Según Degremont y de forma general suponiendo que el lodo deshidratado contiene 27-28%MS se requiere un 30% de adición de combustible general (figura 5-9)



Figura 5.9 balance térmico horno lecho fluido Fuente : Iñaki del Campo, Degremont.

En el caso de los hornos Nº1 y Nº2 de la EDAR Galindo el calor adicional necesario para conseguir el balance térmico se realiza en ambos hornos con gas (tabla 5-8)

El balance térmico de los 2 hornos iniciales de la planta se describe en la tabla 5-8:

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

Entradas	horno1	horno2	u
Calor del fango combustible	4767840	9582120	Kcal/h
Calor del gas	750469	1314000	Kcal/h
Calor del aire de fluidificación	366343	714780	Kcal/h
Calor del agua del fango	52000	104520	Kcal/h
Calor de la MS del fango	7840	15760	Kcal/h
<b>Total</b>	<b>5944492</b>	<b>11731180</b>	<b>Kcal/h</b>
Salidas	horno1	horno2	u
Gases de escape (860 °C)	5735279	11291345	Kcal/h
Cenizas	81872	164600	Kcal/h
Pérdidas (2,3%)	127341	275130	Kcal/h
<b>Total</b>	<b>5944492</b>	<b>11731180</b>	<b>Kcal/h</b>

Tabla 5 9 balance térmico hornos 1 y 2 Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

Teniendo en cuenta la tabla 5-8 construimos el diagrama de Sankey del balance térmico de los hornos 1 y 2 (Figura 5-11) , En el anexo 2 del presente texto se incluye el balance másico asociado al balance térmico de dichos hornos .En el diagrama se puede apreciar lo ya explicado anteriormente , el grueso de aporte de energía viene dado por la materia combustible , con un cierto poder calorífico, aportada por el fango .Hay un aporte de combustible ,denominado GAS en el diagrama, necesario para conseguir la combustión del fango. A la salida tendremos casi toda la energía útil en los gases de escape, el resto serán perdidas y una pequeña cantidad de energía no aprovechada en las cenizas. Los flujos son mayores en el horno dos ya que este es de dimensiones mayores (8 t/h) con respecto al uno (4t/h).

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**



*Figura 5 10 Vista en detalle de la leyenda de la figura 5.11*

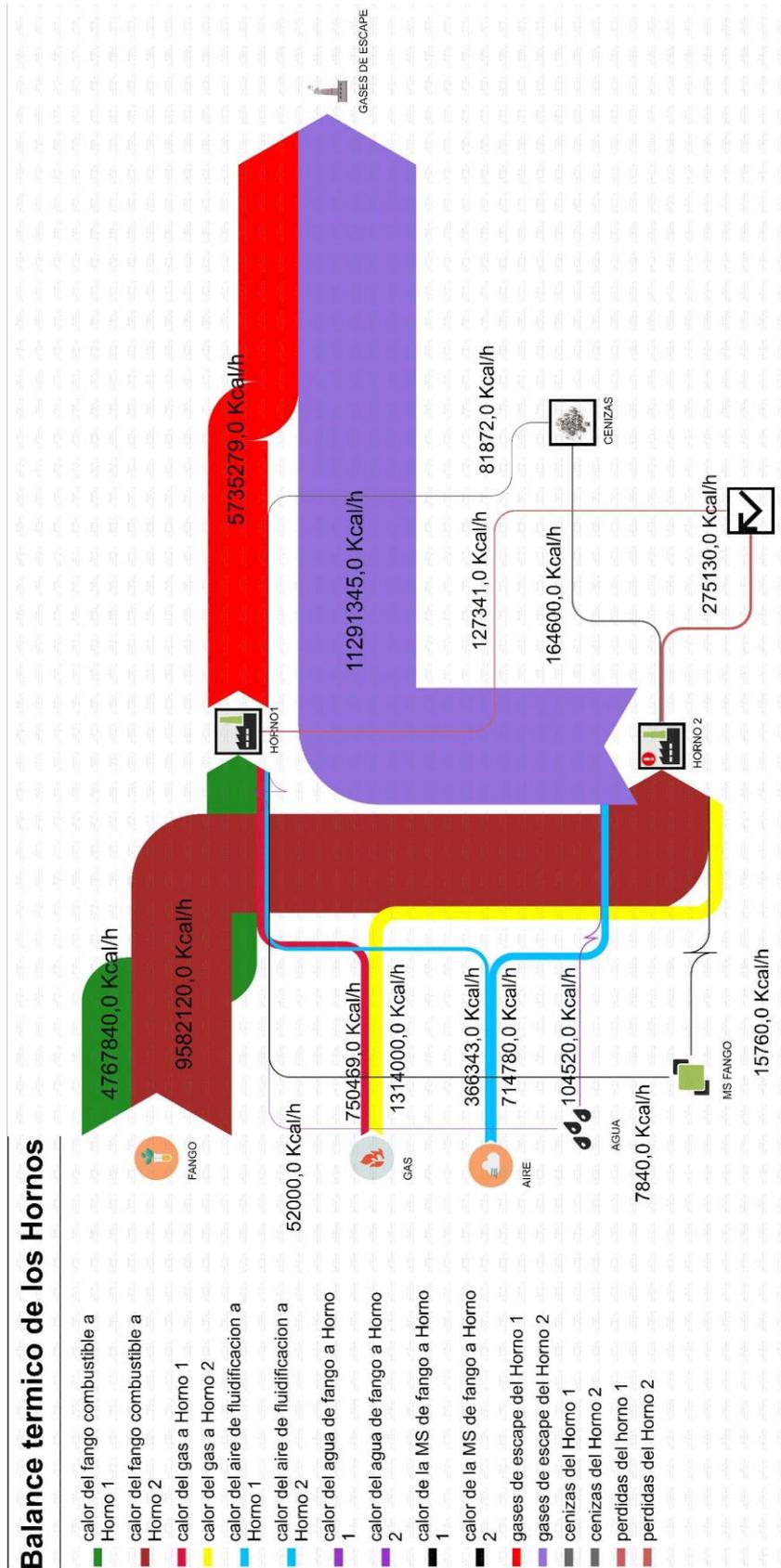


Figura 5 11 Balance térmico de los Hornos 1 y 2

## 5.4. Recuperación de energía del proceso.

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 energía eléctrica mediante la utilización de una caldera de recuperación de alta presión asociada con una turbina de vapor (FIG 5.11)

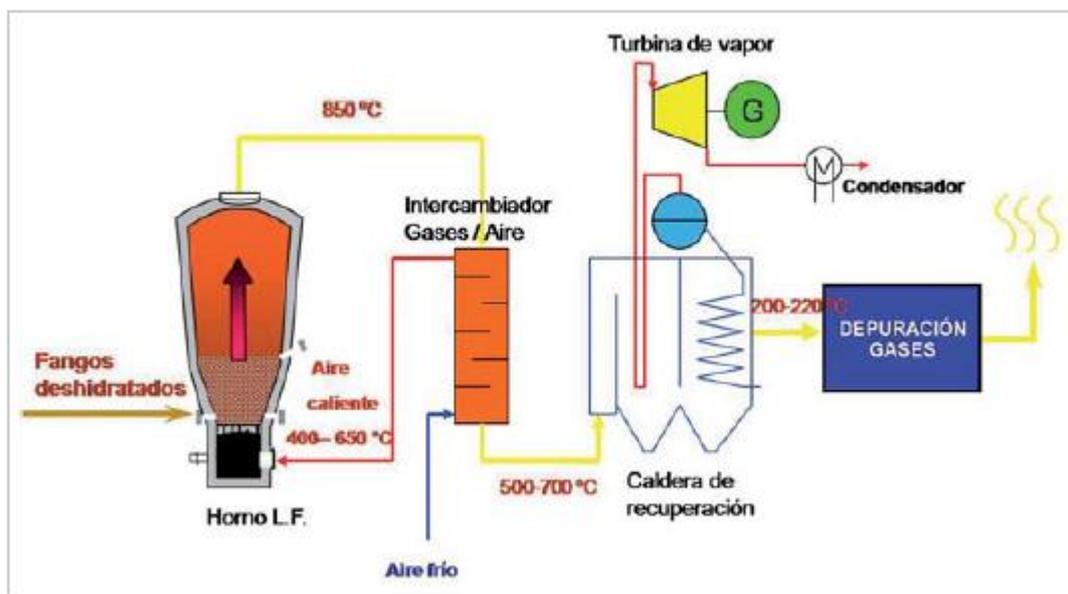


Figura 5 12 ... recuperación de calor en la incineración de lodos Fuente [www.degremont.com/](http://www.degremont.com/)

En la instalación de la EDAR GALINDO Los gases generados en la incineración pasan por una precaldera y una caldera en las que se produce vapor de agua sobresaturado a 400-420 °C de temperatura y 40-42 bar de presión. La mayor parte del vapor generado mueve una turbina (4,29 kg vapor/Kwh) que, a su vez, acciona un alternador que produce electricidad (TABLA 5-9). El agua de condensación retorna al circuito de la caldera. Otra parte del vapor se emplea para calentar el aire de fluidificación hasta una temperatura de 150 °C. Por último, la cantidad de

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

vapor excedente pasa por los aerocondensadores, y el agua condensada retorna al circuito. La combustión del fango se interrumpe si se producen determinados fallos en los equipos auxiliares. La instalación cuenta con un presostato y cinco válvulas de seguridad en la línea de vapor.

En la tabla 5-9 se recogen los datos de la energía térmica y eléctrica generada en los 2 hornos de lecho fluido que se reintegran al proceso

Concepto	horno1	horno2	total
Energía de los humos (kW/h)	6522	13470	19992
Producción de vapor (kg/h)	4000	8600	12.600
Producción de electricidad (diseño) (kW/h)	845	1886	2.731

Tabla5 10.-Energía térmica y eléctrica generada en el proceso Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

**Recuperación de energía:** En la tabla 5-10 se recogen los datos del balance energético del proceso de incineración de lodos de la Edar Galindo funcionando los hornos 1 y 2, durante los años 2005, 2006 y 2007. Se especifica la energía consumida y recuperada, considerando una capacidad calorífica del gas natural de 9.000 kcal/Nm<sup>3</sup>. El consumo de gas natural en el año 2005 es de 3.398.975 Nm<sup>3</sup>, en 2006 es de 4.047.300 Nm<sup>3</sup>, y en 2007 2.303.842 Nm<sup>3</sup>. El coeficiente de recuperación es del 42% en el año 2005 y del 31% para los años 2006 Y 2007

Fango quemado(t/día)	Año	Consumo gas Nm <sup>3</sup>	Capacidad energética (kWh)	Energía eléctrica recuperada	Coef%
68361	2005	3.398.975	35.570.273	15.067.162	42
64897	2006	4.047.300	42.354.994	12.989.095	31
42960	2007	2.303.842	24.075.310	7.157.490	31

Tabla5 11 Balance energético de la incineración Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

El balance de energía eléctrica de la planta, se especifica en la tabla 5-11

Año	Energía(kWh)			
	importada	exportada	consumida	generada
2005	1671671	19213070	48845187	66386586
2006	8558472	13613994	48034257	53089779
2007	8432490	2569963	21058147	15195620

Tabla5 12 Balance de energía eléctrica. Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

### INSTALACIÓN DE COGENERACIÓN DE LA PLANTA EDAR GALINDO

La cogeneración está formada por dos motogeneradores de 3.535 Kwh cada uno, alimentados con Gas Natural, y una turbina de vapor de 2.071 Kwh máximos, que emplea el vapor sobresaturado obtenido en la caldera de recuperación del sistema de Valorización de lodos. En esta cogeneración se aprovecha el calor de los gases de escape de la combustión de fangos para calentar el Fluido Térmico y obtener vapor en una caldera de recuperación (6 t/h), además de generación de energía eléctrica por los alternadores, que se consume en la planta o, en caso de excedentes, se vende a la Red Eléctrica (tabla 5-11).

**La potencia instalada en el edificio de generación/cogeneración es de 15.000 kW y el consumo de gas de 9.549.500 Nm<sup>3</sup> en la instalación de cogeneración.**

Actualmente con la nueva instalación de valorización, el Horno nº3 de capacidad de 8 T/h, y auto térmica (para condiciones normales de entrada del lodo) no es necesario la adición de ningún combustible adicional (gas natural) para el proceso de combustión del lodo. La instalación, es energéticamente autónoma. Por un lado, genera la energía térmica suficiente para garantizar la autotermicidad y por otro lado, se realiza un aprovechamiento energético secundario, que hace posible la autonomía eléctrica (turbina nº2). El consumo eléctrico de la instalación del horno nº3 es cercano a los 600 kW/h y se generan más de 700 kW/h.

Con este tercer Horno y el sistema de cogeneración el diagrama de balance térmico de toda la instalación quedaría representado en la Figura 5-17, los valores serían los mismos usados para el balance térmico de los hornos 1 y 2 de la Figura 5-11, a modo de representación hemos incluido el Horno 3 autotermico del que no disponemos de datos concretos, ya que de el solo se nos ha proporcionado información descriptiva de lo que a su funcionamiento se refiere. En el centro estaría el ciclo de vapor para producción de electricidad (Turbina con recalentamiento), y a la derecha el conjunto de tres motores de gas que conforman el sistema de cogeneración para producir energía eléctrica y calor útil para otros procesos, como el secado del fango antes de la entrada a los hornos.

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

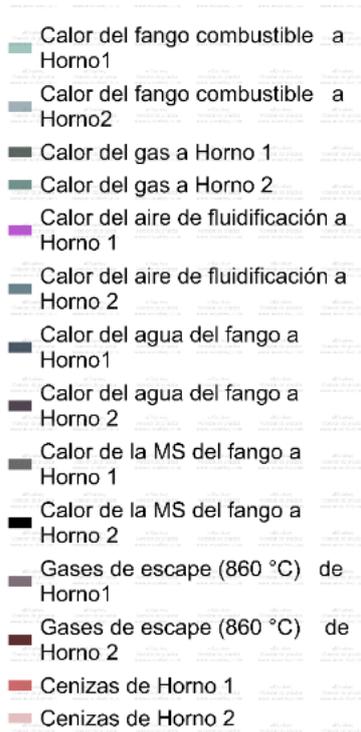


Figura 5 13 Vista en detalle de la leyenda de la Figura 5.17

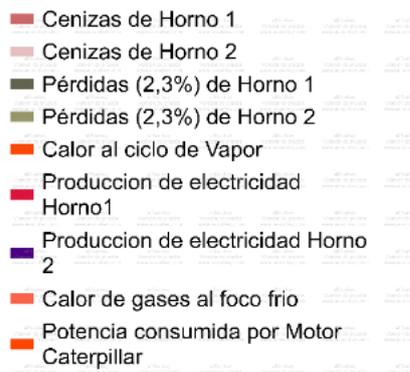


Figura 5 14 Vista en detalle de la leyenda de la Figura 5.17

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**



*Figura 5.15 Vista en detalle de la leyenda de la Figura 5.17*

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

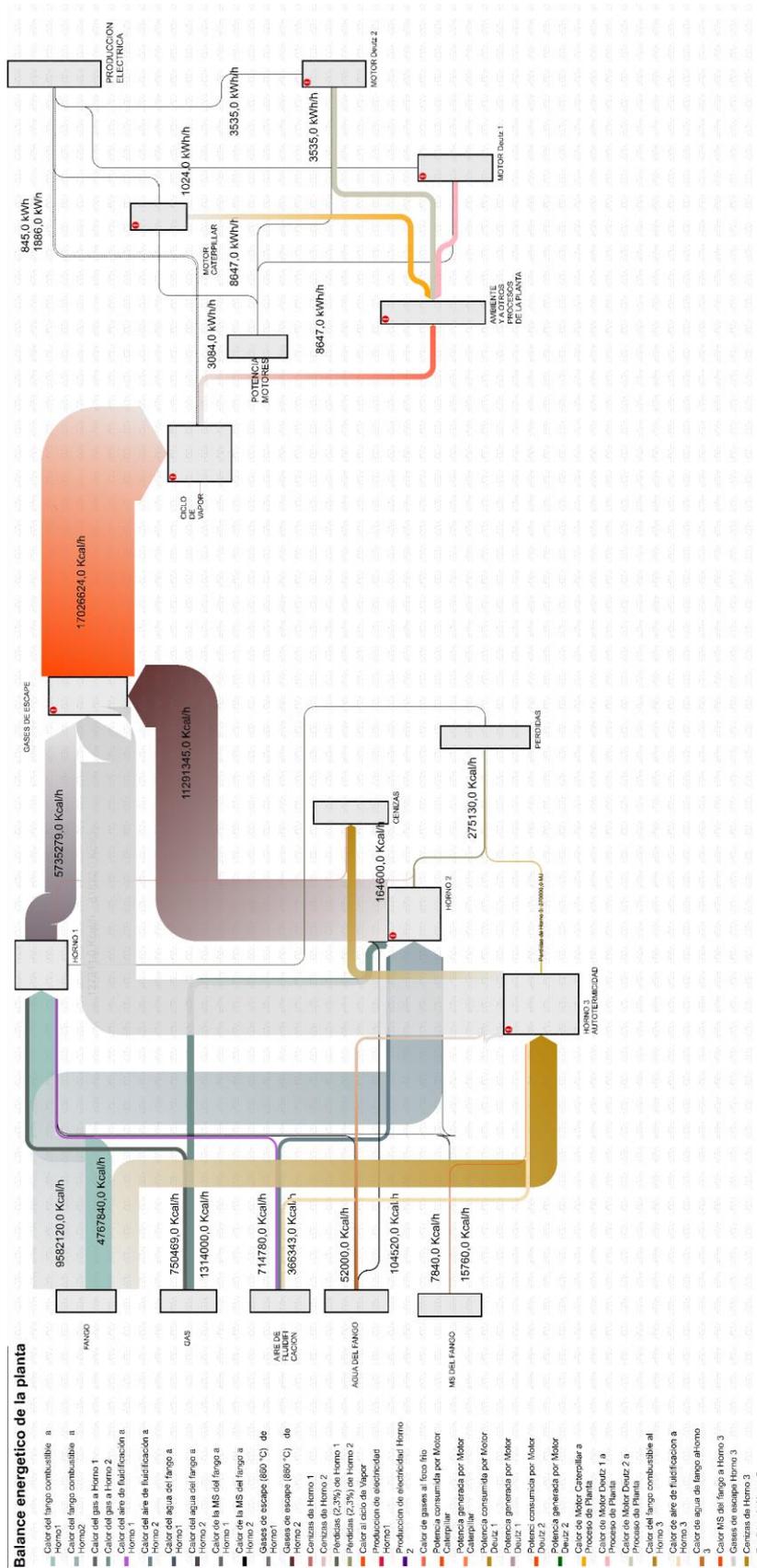


Figura 5.16 Balance energético de la instalación.

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

En la tabla 5.12 se especifica el tiempo de funcionamiento EN HORAS de las 2 TURBINAS durante el año 2014, con un total anual de 10.164 horas tras incinerar 63.989T de fangos

Mes	2014							
	Fango deshidratado filtros prensa (Tn)	Fango incinerado (Tn)			Funcionamiento turbinas (Horas)			Fango a vertedero + compos. (Tn)
		Horno 1	Horno 2	Total	T1	T2	Total	
enero	5.922	1.879	3.453	5.332	538	0	538	590
febrero	5.850	2.114	3.618	5.732	636	0	636	118
marzo	6.543	2.166	4.377	6.543	672	347	1.019	0
abril	5.823	1.701	4.122	5.823	520	586	1.106	0
mayo	5.949	2.257	3.692	5.949	644	266	910	0
junio	6.174	2.092	4.082	6.174	682	480	1.162	0
julio	5.193	1.954	3.134	5.088	592	490	1.082	105
agosto	4.392	1.329	2.775	4.104	225	628	853	288
septiembre	4.878	2.380	261	2.641	627	0	627	2.237
octubre	5.310	101	4.650	4.752	28	699	727	558
noviembre	6.372	860	5.096	5.956	168	666	834	416
diciembre	6.444	980	4.917	5.897	0	670	670	547
<b>TOTAL</b>	<b>68.850</b>	<b>19.811</b>	<b>44.178</b>	<b>63.989</b>	<b>5.332</b>	<b>4.832</b>	<b>10.164</b>	<b>4.861</b>

Tabla 5.13 funcionamiento de las turbinas durante el año 2014. Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

## 5.5. Control de emisiones.

El control de las emisiones generadas en el proceso de incineración de la Edar Galindo, se hacen conforme a lo requerido por Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. En dicha ley se especifica en su anexo 1 que tipo de instalaciones que deben cumplir con dicha normativa:

### 1. Instalaciones de combustión.

1.1 Instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal total igual o superior a 50 MW:

- a) Instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen ordinario o en régimen especial, en las que se produzca la combustión de combustibles fósiles, residuos o biomasa.
- b) Instalaciones de cogeneración, calderas, generadores de vapor o cualquier otro equipamiento o instalación de combustión existente en una industria, sea esta o no su actividad principal.

Por otro lado la empresa del *Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia* también tiene en cuenta las pautas indicadas en el MANUAL DE GESTION DE RESIDUOS INDUSTRIALES PELIGROSOS en lo

referente al módulo 6ª “Incineración de residuos peligrosos y el control de la contaminación ambiental del aire Incineración de residuos peligrosos (IRP)” así como las instrucciones de las Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. Documento BREF. Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2011.

**Para cumplir con todos estos requisitos la empresa establece los puntos de control de emisiones en la planta. Las emisiones a la atmósfera generadas en la línea de tratamiento del agua residual y sus residuos se encuentran asociadas a 11 focos de emisión (10 sistemáticos y 1 no sistemático), que se corresponden con los 3 hornos de incineración, cuatro motores-generadores, dos calderas de secado, una caldera de recuperación, y un by-pass de caldera. Los focos asociados a los hornos cuentan con filtros electrostáticos, lavador húmedo, reducción catalítica de HCl, HF y SO<sub>2</sub>, reducción de NO<sub>x</sub> mediante inyección de aguas amoniacales, y sistema de eliminación de humedad en los humos (calentamiento de humos, mediante intercambiador de calor, a 135 °C, después del lavado húmedo, antes de su salida por la chimenea). En la figura 5.13 se describe la localización geográfica UTM de los 11 focos, catalogación y especificaciones técnicas**

N.º foco	Denominación en el libro registro	Denominación foco de emisión	Altura (m)	Diámetro (m)	Catalogación	Coordenadas UTM	
					Grupo	X	Y
1	48026089-01	Horno de lodos n.º 1	26	0,74 m <sup>2</sup> (sección)	B	500.646	4.794.891
2	48026089-02	Horno de lodos n.º 2	26	1 m <sup>2</sup> (sección)	B	500.645	4.794.828
3	48026089-03	Horno de lodos n.º 3	26	1 m <sup>2</sup> (sección)	B		
4	48026089-04	Motor-generador Caterpillar	15	0,16 m <sup>2</sup> (sección)	B	-	-
5	48026089-05	Motor generador Guascor n.º 1	7	0,03 m <sup>2</sup> (sección)	B	-	-
6	48026089-06	Motor generador Guascor n.º 2	7	0,03 m <sup>2</sup> (sección)	B	-	-
7	48026089-07	Motor generador Guascor n.º 3	7	0,03 m <sup>2</sup> (sección)	B	-	-
8	48026089-08	Caldera de secado n.º 1	13	0,07 m <sup>2</sup> (sección)	B	-	-
9	48026089-9	Caldera de secado n.º 2	13	0,07 m <sup>2</sup> (sección)	B	-	-
10-D	48026089-10D	By-pass de la caldera (salida conjunta ocasional motores Deutz)	21	0,71 m <sup>2</sup> (sección)	B	-	-
11	48026089-11	Caldera de recuperación (salida conjunta motores Deutz)	15	1,13	B	-	-

Figura 5.17 Descripción de los 11 focos de emisión a la atmósfera Edar Galindo. Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

En cada uno de los 11 focos se analizan los parámetros de control de emisiones contaminantes (figura nº5.19) con una frecuencia determinada indicada por la OCA (Organismo de Control Ambiental). En los Focos 1, 2 y 3. Correspondientes a los hornos de incineración, se deberá

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

realizar la medición en continuo de partículas totales, HCl, HF, COT, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Hg, O<sub>2</sub>, caudal, temperatura, presión y humedad.

Foco	Denominación libro registro	Denominación Foco	Parámetros de Medición	Frecuencia de controles
1 2 3	48-21374-01 48-21374-02 48-21374-03	Horno de lodos n.º 1 Horno de lodos n.º 2 Horno de lodos n.º 3	Partículas totales, HCl, HF, COT, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, Hg, O <sub>2</sub> caudal, temperatura, presión y humedad	Continuo
			Amoniaco	Control trimestral por OCA
			PCDDs y PCDFs	Control trimestral por OCA
			Metales pesados: Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	Control trimestral por OCA
			Partículas totales, HCl, HF, COT, CO, NO <sub>x</sub> , y SO <sub>2</sub>	Control anual por OCA
4	48-21374-04	Motor-generator Caterpillar	CO y NO <sub>x</sub>	Cada tres años por OCA
5	48-21374-05	Motor generador Guascor n.º 1	CO y NO <sub>x</sub>	Cada tres años por OCA
6	48-21374-06	Motor generador Guascor n.º 2	CO y NO <sub>x</sub>	Cada tres años por OCA
7	48-21374-07	Motor generador Guascor n.º 3	CO y NO <sub>x</sub>	Cada tres años por OCA
8	48-21374-08	Caldera de secado n.º 1	CO y NO <sub>x</sub>	Cada tres años por OCA
9	48-21374-09	Caldera de secado n.º 2		
11	48-21374-11	Caldera de recuperación (salida conjunta motores Deutz)	CO y NO <sub>x</sub>	Cada tres años por OCA

Figura 5 18 frecuencia de control de emisiones de los 11 focos Edar Galindo. . Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

**CONTROL DE DEPURACIÓN DE LOS GASES**

Después de aprovechado el calor residual de los gases de combustión, se procede a la depuración de éstos, en un proceso de 3 etapas:

*Primera etapa: Electro filtro* (depura la mayor parte de materia en suspensión que se encuentra en los gases en forma de polvo.

*Segunda etapa: Vía húmeda*, consta de 2 torres, una ácida y otra neutra, (elimina ClH, SO<sub>2</sub>, FH)

y la Tercera etapa: Vía seca filtro de mangas, recoge las cenizas y residuos de la reacción, en sus tolvas de fondo

En las figuras nº5.20 y nº5.21.- se detallan los resultados del control de depuración de los gases mediante la vía seca y la vía húmeda durante el periodo 2006-2007 según datos del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia donde se puede observar el alto rendimiento de los equipos de depuración con la eliminación casi completa de partículas y emanaciones ácidas tóxicas en la salida de los mismos

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
• Caudal de gases (Nm <sup>3</sup> /h)	12.449 / 24.509	12.449 / 24.509
• Temperatura (°C)	200	195
• Concentración partículas (mg/Nm <sup>3</sup> )	25.000	30
• Ceniza (kg/h)	311 / 622	0,37 / 0,74

Figura 5 19 rendimiento fase seca Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

	<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
• ClH (mg/Nm <sup>3</sup> )	< 440	< 10
• SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	< 1100	< 50
• FH (mg/Nm <sup>3</sup> )	< 12,60	< 2

Figura 5 20 Rendimiento fase húmeda lavado de gases Fuente: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

En la figura 5.22 se exponen los datos de los parámetros controlados en las emisiones de los hornos nº1 y nº2 en los años 2006-2007 y tal y como se puede comprobar dichos valores se ajustan a lo establecido en el Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos, en lo referente a los límites de emisiones en los gases generados en la combustión del fango deshidratado

PARÁMETRO	HORNO 1	HORNO 2	LÍMITE	
			100%	97%
COT (mg/Nm <sup>3</sup> )	5,4	5,2	20	10
FH (mg/Nm <sup>3</sup> )	<1,9	<2	4	2
CIH (mg/Nm <sup>3</sup> )	<2,7	<2,6	60	10
NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )	217,1	200,3	400	200
CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	<6,8	<7,3	100	--
Partículas sólidas (mg/Nm <sup>3</sup> )	<8,5	<9,5	30	10
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	<17,2	<27,3	200	50
Sh (mg/Nm <sup>3</sup> )	<0,012	<0,013		
Cd + T (mg/Nm <sup>3</sup> )	0,0029	0,0029	0,05	
Hg (mg/Nm <sup>3</sup> )	0,004	0,006	0,5	
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V mg/Nm <sup>3</sup> )	0,038	0,033		
Dioxinas y furanos (mg/Nm <sup>3</sup> )	0,0432	0,0133	0,1	

Figura 5 21.- valores medios diarios de parámetros de control de emisiones en gases de incineración en relación con los límites establecidos legislativamente. Fuente: Consorcio aguas Bilbao Bizkaia

## 5.6. -Balance económico. Costes .Consumos del Proceso:

El balance económico del proceso de incineración de lodos deshidratados depende sin duda de los costes asociados a los diferentes consumos de materias primas, agua y energía del proceso, siendo sin duda la partida energética la que implica un mayor coste económico.

Los datos de consumo del proceso que se presentan en este apartado corresponden a los datos disponibles que la empresa nos ha suministrado y que corresponden a los años 2005, 2006 y 2007. Actualmente con la puesta en funcionamiento del horno nº3 autotérmico se produce un gran cambio en el consumo eléctrico cuando está en funcionamiento dicho horno, no siendo necesario el aporte de energía eléctrica externa, por lo que la planta es energéticamente autosuficiente.

En la línea de tratamiento de fangos además de los propios lodos del sistema de depuración de la EDAR se consumen materias auxiliares en la deshidratación/valorización/cogeneración (sosa cáustica, ácido clorhídrico, hipoclorito sódico), en la depuración de emisiones (hidróxido amónico), en el espesamiento de fangos (polielectrolito catiónico), y en operaciones de mantenimiento (aceites).

La potencia instalada en toda a línea de tratamiento de fangos es de 6.950 kW en el edificio industrial y de 15.000 kW en el edificio de generación/cogeneración. Asociados a la instalación

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

de cogeneración existen tres centros de transformación: uno asociado al motor Caterpillar dotado de un transformador de 4.000 kVA, uno asociado a motores Deutz dotado de un transformador de de 8.500 kVA, y uno asociado a la turbina con dos transformadores de 2.000 y 2.500 kVA.

Los consumos de los hornos 1 y 2 según datos correspondientes a los años 2005-2006y 2007 son:

Horno nº1:

Año	Horas quemando	fango incin. (t)	Rdt(t/h)	Gas(Nm <sup>3</sup> )	Consumo espec. (Nm <sup>3</sup> /t)	Materia seca(%)
2005	7350	23546	3,2	1143429	151,75	32
2006	7567	24801	3,28	1351833	170,32	32
2007	4121	14783	3,59	795567	175,9	30,5

Tabla5 14 Consumos Horno nº1 Fuente: Consorcio aguas Bilbao Bizkaia

Año	Horas quemando	fango incin.(t)	Rdt(t/h)	Gas(Nm <sup>3</sup> )	Consumo espec.(Nm <sup>3</sup> /t)	Materia seca(%)
2005	7661	44.815	5,85	2255546	157,21	32,1
2006	6657	40.096	6,02	2695467	210,08	31,8
2007	3884	28.177	7,25	1508275	175,5	30,5

Tabla5 15Consumo Horno nº2. Fuente: Consorcio aguas Bilbao Bizkaia

La sequedad del fango, menor que la de diseño (35%), tiene como consecuencia una menor producción (menos fango quemado) con un mayor gasto de gas. Asimismo, las paradas por averías en equipos auxiliares que, además de impedir quemar, obligan a mantener los hornos calientes mediante la combustión de gas, y las fases de calentamiento después de las revisiones generales, hacen que el consumo unitario de gas sea mayor que el teórico. Si a esto se le añaden las paradas de las turbinas, resulta que la recuperación energética se aleja del valor teórico (Villanueva, 2007).

El consumo de energía eléctrica en la línea de tratamiento de fangos asciende a 6.950.000 Kwh., siendo su procedencia tanto externa (a través de centros de transformación) como interna (generada en la cogeneración). Asimismo, en la planta se consume gas natural, en los hornos de valorización de lodos y en la instalación de cogeneración. El consumo en el año 2006

de gas natural fue de 9.549.500 Nm<sup>3</sup> en la instalación de cogeneración y de 4.070.999 Nm<sup>3</sup> en los hornos de incineración de lodos.

El consumo de agua en la línea de tratamiento de fangos procede de la red de abastecimiento para la reposición de las purgas en la caldera (consumo de 3.650 m<sup>3</sup>/año).

Asimismo, se utiliza agua tratada en la planta de tratamiento de aguas para la refrigeración en el condensador de la turbina de vapor (consumo de 178.000 m<sup>3</sup>/año).

La instalación nueva puesta en funcionamiento en 2015 es energéticamente autónoma (Figura nº5.23). Por un lado, genera la energía térmica suficiente para garantizar la autotermicidad y por otro lado, se realiza un aprovechamiento energético secundario, que hace posible la autonomía eléctrica. Esto último, se consigue con el aprovechamiento del calor secundario no utilizado para el calentamiento del aire de combustión, mediante el cual se genera vapor de agua y electricidad a través de turbinas. El consumo eléctrico de la instalación es cercano a los 600 kW/h y se generan más de 700 kW/h.

<b>consumo de energía eléctrica</b>		
<b>línea de tratamiento de fangos</b>	<b>6.950.000 Kwh</b>	<b>600 kW/h</b>
<b>potencia instalada en la línea de tratamiento de fangos</b>	<b>6.950 kW en el edificio industrial</b>	
<b>potencia instalada en el edificio de generación/cogeneración</b>	<b>15.000 kW</b>	
<b>consumo de gas</b>		
<b>hornos</b>	<b>4.070.999 Nm<sup>3</sup></b>	
<b>generación/cogeneración</b>	<b>9.549.500 Nm<sup>3</sup></b>	
<b>recuperación</b>		<b>700 kW/h</b>
<b>vapor en una caldera de recuperación</b>		<b>6 t/h</b>

Figura 5 22 Datos de consumos de gas y energía eléctrica año 2015. Fuente Consorcio aguas Bilbao Bizkaia

## 6. Conclusiones.

1.-El proceso de depuración aguas residuales en instalaciones denominadas EDAR, conseguido el objetivo de eliminar los contaminantes del agua antes de su devolución al medio receptor, conforme la autorización de vertidos, genera un alto volumen de residuos que se denominan Fangos o Lodos de depuradora que han de ser gestionados adecuadamente.

2.-Los procesos de gestión de Fangos de depuración, su tratamiento y valorización implican un alto coste en las EDAR, fundamentalmente por consumo de energía térmica y eléctrica, además de su importante contribución en la huella ambiental de dicha actividad.

3.-Existen varias posibilidades para alcanzar la eficiencia energética en plantas depuradoras de aguas residuales urbanas, una de ellas es la valorización de lodos por incineración. Este es el caso de las instalaciones de Valorización Energética de Lodos EDAR de Galindo del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia, cuya capacidad máxima de incineración de fangos con recuperación de energía amparada por la autorización AAI (Autorización Ambiental Integrada) se fija en 90.000 toneladas al año.

4- El II Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales recomienda como opción más favorable desde el punto de vista ambiental, la utilización de los lodos como enmienda orgánica en agricultura una vez que se han compostado. Los lodos generados en las depuradoras de algunas grandes ciudades son en parte urbanos, y también de origen industrial, que los hace inapropiados para su utilización agrícola al contener metales pesados y otros contaminantes. Si bien los valores de metales de lodos de la Edar Galindo cumplen Anexo 1B DEL Rd 1310/1990, no lo hacen cuando nos referimos a los valores de compostaje sobre todo compostaje ecológico.

5.-La valorización energética de lodos de depuración mediante incineración es hoy en día una realidad viable que no tiene porqué comportar problemas ambientales si se aplican adecuadamente las Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea (Documento BREF, 2011) para Incineración de Residuos. Un ejemplo de ello es **EDAR de Galindo, reflejado en su obtención de AAI EN 2015 para su instalación de incineración de lodos**

6.- El uso de hornos de lecho fluidificado para la incineración de lodos de depuración se ha demostrado muy eficiente. Además operando con las directrices de las MTDs, no debe haber un impacto significativo sobre el medioambiente, para ello se controlan dos parámetros, la temperatura de operación del horno que no debe superar los 1100 °C y el exceso de aire , para que la combustión sea lo más completa posible generando un menor número de inquemados , sobre todo en lo que se refiere a NOx.

7.-. En la EDAR Galindo Se producen un total de 68.850 T/año de fangos deshidratados, con un valor medio de 190 T/día. 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 de su valorización energética la generación adicional de calor útil.

8- Actualmente La instalación de incineración de lodos de la Edar Galindo dispone de 3 hornos de lecho fluidificado, 2 hornos, funcionan con gas natural, y un tercer horno (desde 2015) que consigue las condiciones de autotermicidad. Normalmente, las 3 líneas no funcionan conjuntamente, siempre se deja un horno de reserva. En verano que hay menor producción de lodos funcionan los hornos 1 y 2 con una capacidad total de 12 T/h, en el resto del año funcionan los hornos 2 y 3 con una capacidad total de 16 t/h.

9.- Cuando el tratamiento final de los lodos es la incineración o la coincineración, además de cumplir con lo establecido en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos, se debe cumplir con lo establecido en el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. Las emisiones a la atmósfera generadas en la línea y valorización de fangos de la EDAR Galindo se encuentran asociadas a 11 focos de emisión (10 sistemáticos y 1 no sistemático), que se corresponden con los 3 hornos de incineración, cuatro motores-generadores, dos calderas de secado, una caldera de recuperación, y un by-pass de caldera. Los focos asociados a los hornos cuentan con filtros electrostáticos, lavador húmedo, reducción catalítica de HCl, HF y SO<sub>2</sub>, reducción de NOX mediante inyección de aguas amoniacales, y sistema de eliminación de humedad en los humos (calentamiento de humos, mediante intercambiador de calor, a 135 °C, después del lavado húmedo, antes de su salida por chimenea).

**10.- En base a los datos de la edar EDAR de Galindo** y en conformidad con su AAI se controlan mensualmente 13 metales en los fangos Cu (mg/kg MS) Zn (mg/kg MS) Cd (mg/kg MS) Hg (mg/kg MS), Al (mg/kg MS), Pb (mg/kg MS), Cr (mg/kg MS), Mn (mg/kg MS), Fe (mg/kg MS), Ni (mg/kg MS), As (mg/kg MS), Se (mg/kg MS), Sn (mg/kg MS). Los valores mensuales medios más altos corresponden a Al **11.900,0** mg/kg MS a Fe **10.500,0** (mg/kg MS), Zn **816,5** mg/kg MS y los más bajos a Hg, As, Se, Cd. Los valores más altos registrados corresponden a Al y Fe pero se trata de dos metales no especificados como parámetros de control por la legislación para su aplicación en el suelo. Hay que añadir además que estos metales forman parte de sustancias químicas usadas como coagulantes-floculantes en el tratamiento de aguas.

**11.-** El sistema de cogeneración de la EDAR GALINDO está formado por dos motogeneradores, alimentados con gas natural, y una turbina de vapor, que emplea el vapor sobresaturado obtenido en la caldera de recuperación alta presión del sistema de incineración de lodos. La energía recuperada se usa para alimentar térmicamente a un secador térmico que pre-secará

los lodos deshidratados-, incrementando su sequedad antes de su inyección en el horno. El calor de los gases de escape de la combustión se usa para calentar el Fluido Térmico además de la generación de energía eléctrica por los alternadores, que se consume en la planta o, en caso de excedentes, se vende a la Red Eléctrica.

12) El control de las emisiones generadas en el proceso de incineración de la Edar Galindo, se hacen conforme a lo requerido por Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Para cumplir con todos estos requisitos la empresa del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia establece los puntos de control de emisiones en la planta conforme a la AAI.

13). Las emisiones a la atmósfera generadas en la línea de tratamiento del agua residual y sus residuos se encuentran asociadas a 11 focos de emisión (10 sistemáticos y 1 no sistemático), que se corresponden con los 3 hornos de incineración, cuatro motores-generadores, dos calderas de secado, una caldera de recuperación, y un by-pass de caldera. En cada uno de los 11 focos se analizan los parámetros de control de emisiones contaminantes con una frecuencia determinada por la OCA (Organismo de Control Ambiental).

14) En Los Focos de emisión 1, 2 y 3 correspondientes a los hornos de incineración se realizará medición en continuo de: partículas totales, HCl, HF, COT, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Hg, O<sub>2</sub>, caudal, temperatura, presión y humedad. Amoníaco y metales pesados se controlan con frecuencia trimestral.

15) En relación con las medidas de prevención y control de emisiones, los focos asociados a los hornos cuentan con filtros electrostáticos, lavador húmedo, reducción catalítica de HCl, HF y SO<sub>2</sub>, reducción de NO<sub>x</sub> mediante inyección de aguas amoniacales, y sistema de eliminación de humedad en los humos (calentamiento de humos, mediante intercambiador de calor, a 135 °C, después del lavado húmedo, antes de su salida por la chimenea)

16) El balance económico del proceso de incineración de lodos deshidratados depende sin duda de los costes asociados a los diferentes consumos de materias primas, agua y energía del proceso, siendo sin duda la partida energética la que implica un mayor coste económico.

17) Actualmente con la puesta en funcionamiento del horno nº3 autotérmico se produce un gran cambio en el consumo eléctrico cuando está en funcionamiento dicho horno, no siendo necesario el aporte de energía eléctrica externa, por lo que la planta es energéticamente autosuficiente.







## 7. Anexos.

### ANEXO 1.- LEGISLACIÓN APLICABLE A LA VALORIZACIÓN DE LODOS DE DEPURADORAS

#### NORMATIVA EN MATERIA DE RESIDUOS:

– Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos (Directiva Marco de Residuos)

-Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (LRSC)

- Los lodos de depuradora, como residuos generados en los procesos de depuración de aguas residuales, deben ser gestionados de acuerdo a la normativa europea y nacional en materia de residuos.

– Aplicación de la Jerarquía de Residuos para lodos:

Suelos agrícolas (valorización) > Incineración (valorización energética) > Vertedero (eliminación)

– Las EDAR, para asegurar el tratamiento adecuado de sus residuos, están obligadas a (art. 17 LRSC):

- Realizar el tratamiento por sí mismas
- Encargar el tratamiento a un negociante, o a una entidad o empresa, registrados conforme a la LRSC

– Autorizaciones (art.27 LRSC): Quedan sometidas al régimen de autorización las instalaciones donde vayan a desarrollarse operaciones de tratamiento de los lodos y las personas físicas o jurídicas para realizar dichas operaciones.

Según el tratamiento del residuo:

– **Incineración/coincineración:**

- Directiva 2010/75/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y Control integrados de la contaminación.

– ***Eliminación en vertedero:***

- Directiva 1999/31/CEE del Consejo, de 26 de abril 1999, relativa al vertido de residuos.
- Decisión del Consejo, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE.
- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

**Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.**

– Sólo podrán ser utilizados en la actividad agraria:

- **Los lodos tratados**

Reducción significativa de su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización

- Los lodos tratados cuyo contenido en metales pesados < Límites Anexo IB

– Sólo en suelos:

- Su concentración de metales pesados < Límites del Anexo IA

– Límite de aportación anual de metales pesados a los suelos:

- Cantidades máximas de lodos tratados que podrán aportarse/ha y año. No se podrá superar la cantidad anual de metales pesados que se podrá introducir en los suelos establecida en el Anexo IC.

**En relación a los límites de metales pesados en los suelos para poder aplicar lodos:**

ESTUDIO: “Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y de pastos de España”. MMARM e INIA (MEC).

Contenido medio de Metales Pesados en los suelos (mg/kg m.s)				
	Suelos agrícolas [1]		Directiva 86/278/CEE	
	pH <7	pH >7	pH <7	pH >7
Cd	0,15	0,26	1	3
Cr	29	27	100	150
Cu	20	20	50	210
Hg	0,072	0,055	1	1,5
Ni	21	20	30	112
Pb	22	19	50	300
Zn	58	53	150	450

[1] “Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y de pastos de España”. MMARM e INIA (MEC).

– Análisis: Anexo II (Real Decreto 1310/1990)

• **Análisis de los lodos (IIA):**

– Frecuencia mínima cada 6 meses (excepciones: cada 12 meses)

– Parámetros mínimos a analizar

– Métodos de análisis y muestreo (oficiales, salvo metales pesados anexo IIC)

• **Análisis de los suelos (IIB):**

– Antes de la puesta en práctica del sistema de control y seguimiento

– CCAA: Frecuencia

– Parámetros

• **Métodos de muestreo y análisis (IIC):**

– Muestreo de los suelos

– Muestreo de los lodos

– Métodos de análisis de los metales pesados

**Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.**

– Establece la información que deben remitir:

- Las EDAR,
- Las instalaciones de tratamiento de los lodos de depuración,
- Los gestores que realizan la aplicación de los lodos de depuración a los suelos,
- Las CCAA

– Principales cambios respecto a la Orden de 26 octubre de 1993 (derogada):

- Mejora de la información sobre la gestión, principalmente sobre los tratamientos.
- Información anual sobre la producción y tratamiento de los lodos

- Documento que acompaña al transporte

– EDAR:

- Anexo I: Información de la EDAR y de la gestión de los lodos

– Instalación, Titular, Entidad concesionaria

– Información técnica: Tipo de lodos, tratamientos de la línea de agua y tratamientos de los lodos, cantidad producida y gestión posterior

– Anualmente, antes del 1 de marzo del año siguiente remisión a la CCAA

– Última instalación de tratamiento anterior a la aplicación al suelo:

- Anexo II: Documento de identificación de los lodos

– Emitido por la instalación de tratamiento

– Acompaña a los lodos en su transporte desde la instalación de tratamiento hasta las explotaciones agrarias en las que serán aplicados

– Identificación de la instalación de origen, del transportista y del gestor que realiza la

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

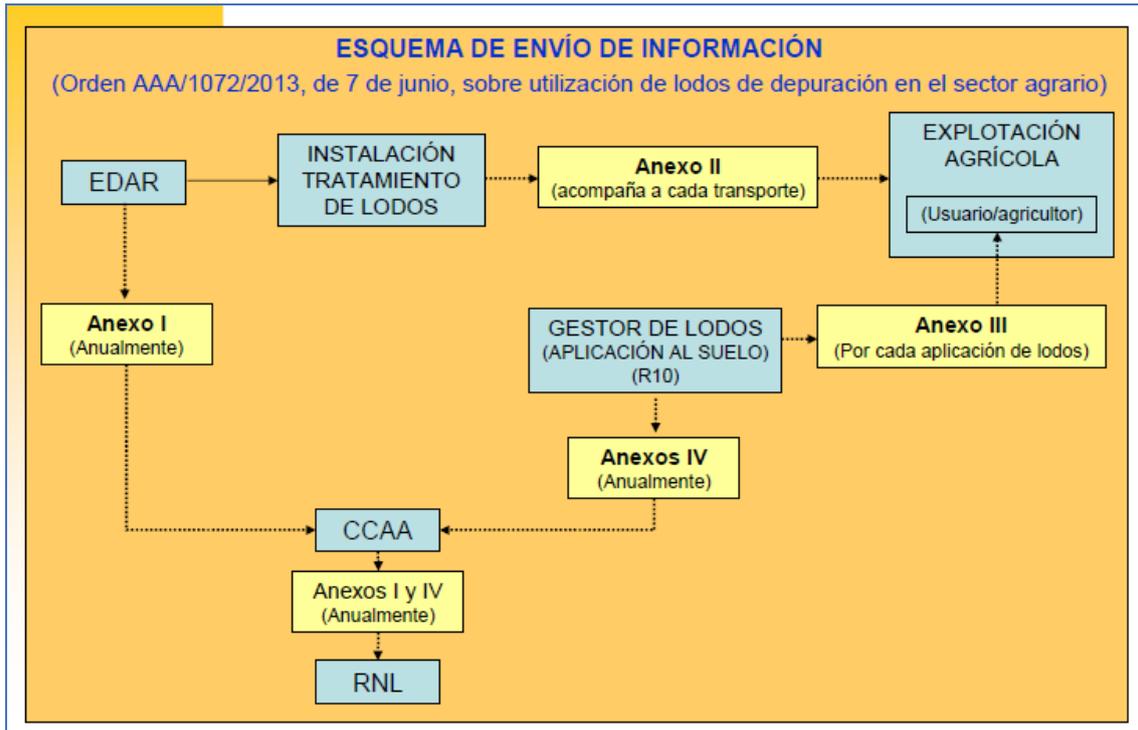
aplicación al suelo, así como de las características (analítica y cantidad) de los lodos transportados

Gestores que realizan la aplicación al suelo de los lodos tratados:

- Anexo III: Documento de aplicación de los lodos
  - Para cada aplicación de lodos (Aplicación=utilización de una partida de lodos de la misma procedencia sobre una determinada parcela)
  - Entrega de una copia al usuario (agricultor), que la deberá conservar 3 años
  - Identificación de la instalación de tratamiento de los lodos, del gestor que realiza la aplicación y del agricultor
  - Información técnica de la aplicación agrícola: Parcela, dosis de lodos, características de los lodos y del suelo, cultivo.
- Anexo IV: Información anual de las aplicaciones de lodos
  - Anualmente, antes del 1 de marzo del año siguiente remisión a la CCAA donde aplique lodos
  - Un anexo IV para el conjunto de aplicaciones realizados con una misma partida de lodos (mismo origen, misma analítica)
  - Identificación de la instalación de tratamiento de los lodos y del gestor que realiza la aplicación
  - Información técnica: características de los lodos (analítica) e información de las aplicaciones realizadas (ubicación, dosis y cultivo)

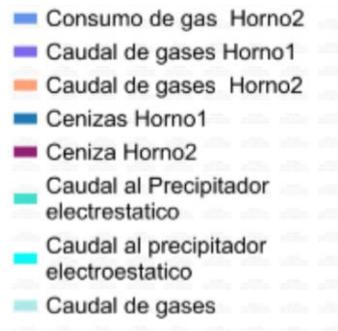
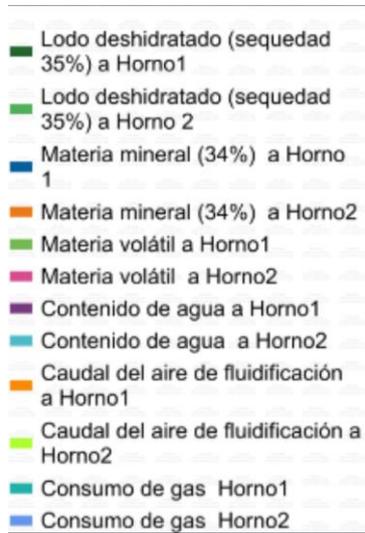
**CCAA:**

- Reciben los Anexos I y IV (de las EDAR y de los gestores que realizan aplicaciones agrícolas, respectivamente) • Antes del 1 de abril del año siguiente, remisión al RNL de la información de los Anexos I y IV.

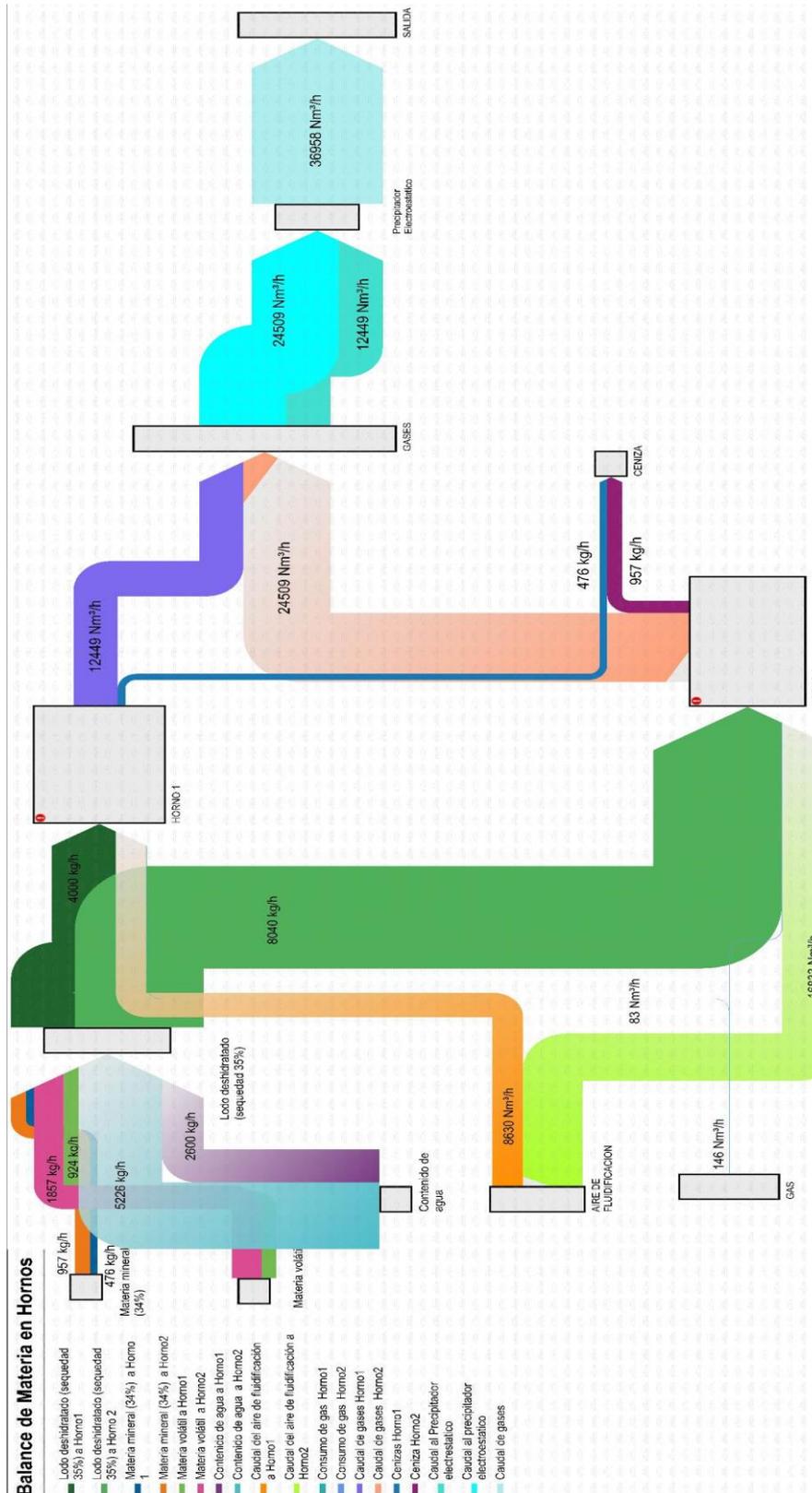


## ANEXO 2

### BALANCE DE MATERIA DE LOS HORNOS 1 Y 2 :DIAGRAMA DE SANKEY



EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN  
 ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION



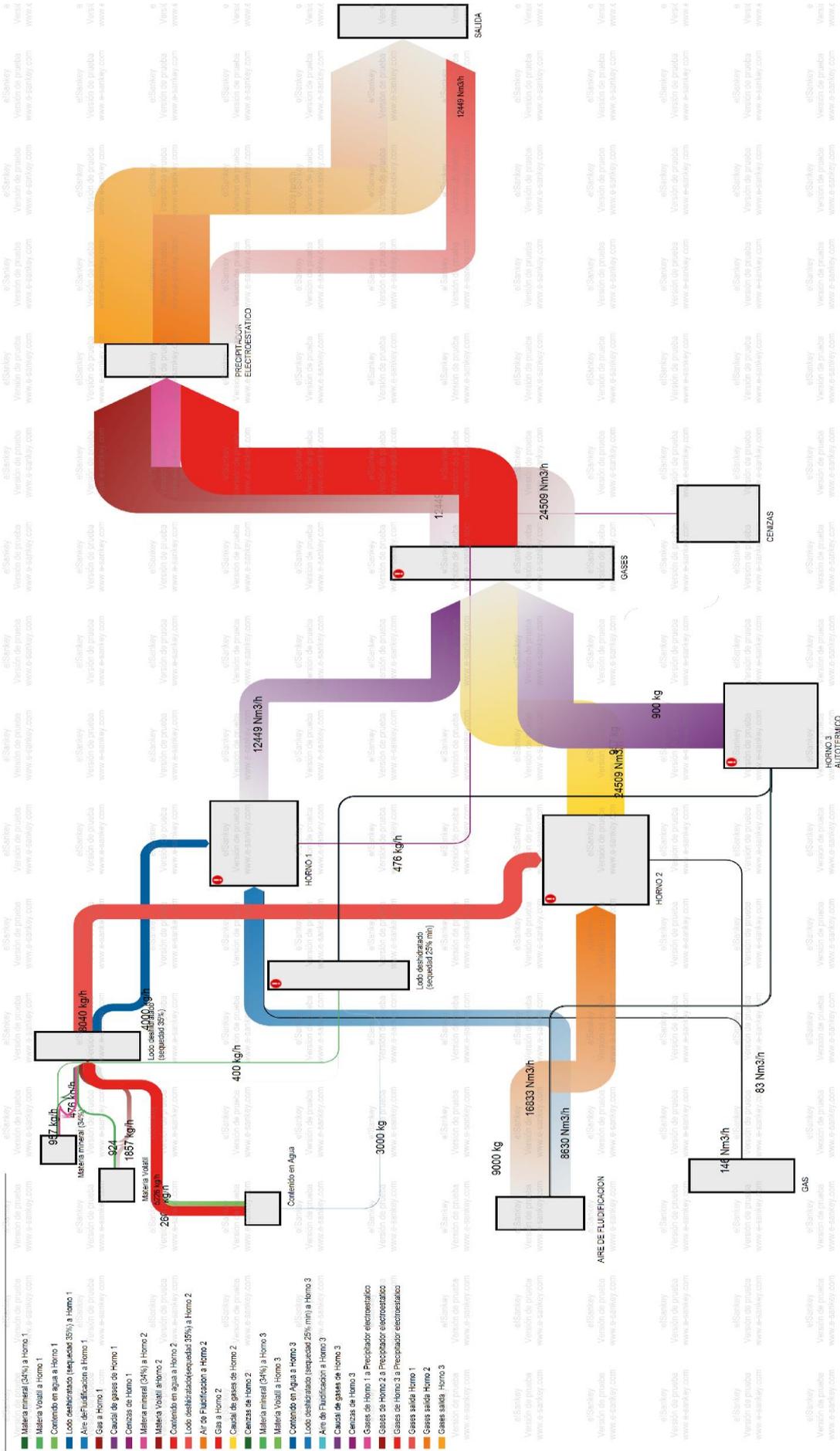


## BALANCE DE MATERIA DE LOS HORNOS 1 , 2 y 3 :DIAGRAMA DE SANKEY



**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN**  
**ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION**

**Balance de Materia en Hornos 1, 2 y 3**







## BIBLIOGRAFIA.

Aznar,A. y J.C. Cabanelas. Universidad Carlos III de Madrid. **Tratamiento de lodos de depuradora**. Fuente: EPSAR entidad saneamiento comunidad valenciana.[Consulta:28 de enero 2018] Disponible en web: < [www.epsar.qva.es/](http://www.epsar.qva.es/)

Armengol Grau, Oriol Farré. 2011. **Situación y potencial de valorización energética directa de residuos**. Estudio Técnico PER 2011-2020.IDAE 2011. [Consulta : 03 de noviembre 2017] disponible en web:<<https://es.scribd.com/document/102633721/Valorizacion-Energetica-de-Residuos-IDAE>>

AAI EDAR GALINDO . **RESOLUCIÓN de 19 de mayo de 2008, del Viceconsejero de Medio Ambiente, por la que se concede autorización ambiental integrada para la actividad de incineración de lodos con recuperación de energía, promovida por Consorcio de Aguas Bilbao-Bizkaia en el término municipal de Sestao (Bizkaia)**. BOLETÍN OFICIAL DEL PAÍS VASCONº195 de 11 de octubre de 2013

CABB-Folleto Galindo MTr - The-Galindo-WWTP-Leaflet.pdf, n.d. (“CABB-F.pdf,” n.d.) [Consulta: 09 de octubre 2017] Disponible en web:<[http://www.bizkaia21.eus/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio\\_Sostenible/dokumentuak/20101011115000052\\_edarGal.pdf](http://www.bizkaia21.eus/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio_Sostenible/dokumentuak/20101011115000052_edarGal.pdf)>

Del Campo., Iñaki . Degremont.**El factor clave del tratamiento defangos -La energía**[Consulta 04 de febrero 2018] disponible en web:<<http://docplayer.es/13960354-El-factor-clave-del-tratamiento-de-fangos-la-energia-inaki-del-campo-director-de-proyectos-degremont-iberia.html>>

[Degremont - Water Treatment solutions](#)

Orbe, Hector; Guezuraga, Ildefonso, Jose Ignacio . **nueva instalación de valorización de lodos de la EDAR de Galindo** .Revista RETEMA 2015:49-60.

EDAR GALINDO [Consulta: 16 de octubre 2017] Disponible en web:<<http://www.bizkaia21.eus/atalak/TerritorioSostenible/Lugares/datos.asp?id=3&IdPagina=36&idioma=ca>>

F.J. Colomer Mendoza, M. Carlos Alberola, L. Herrera Prats, A. Gallardo Izquierdo, M.D. Bovea. **Viabilidad de la valorización energética de lodos procedentes de distintos tipos de**

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN  
ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION

**depuradoras.** 2009. [Consulta: 05 de enero 2018] Disponible en web:<<http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/22773/32650.pdf?sequence=1>>

Gonzalo Pedrero, Gema. 2014. **normativa aplicable a la gestión de lodos de depuración**. SG DE RESIDUOS.DG CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL Y MEDIO NATURAL. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. En: Jornadas valencia aguas residuales y lodos 2014.[Consulta: 25 de enero 2018].Disponible en web:< [www.epsar.qva.es/](http://www.epsar.qva.es/) >

Kengne Ives, Berta Moya Diaz-Aguado y Linda Strande. **Manejo de lodos fecales.2014 Un enfoque sistémico para su implementación y operación** . ISBN: 9781780408019

LIBRO LODOS FECALES : traducido de *Faecal Sludge Management: systems approach for implementation and operation* ISBN: 9781780408026 (eBook).. Editores :Linda Strande, Mariska Ronteltap Damir Brdjanovic. ISBN: 9781780408019

LODOS DEPURADORAS CARACTERIZACION. CEDEX  
[http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es\\_LODOSDEDEPURADORADIC2013.pdf](http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_LODOSDEDEPURADORADIC2013.pdf)

LODOS DEPURADORAS INCINERACIÓN. CEDEX  
<http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/30/lodos-de-depuradoras/valorizacion/135/valorizacion-energetica-.html>

LA APLICACIÓN DE LODOS EN AGRICULTURA EN LA COMUNIDAD VALENCIANA. Jornadas valencia aguas residuales lodos 2014. [Consulta: 25 de enero 2018].Disponible en web:< [www.epsar.qva.es/](http://www.epsar.qva.es/) >

**Manejo de lodos fecales.2014.** Un enfoque sistémico para su implementación y operación. Editores :Linda Strande, Mariska Ronteltap Damir Brdjanovic. ISBN: 9781780408019

**MANUAL DE GESTION DE RESIDUOS INDUSTRIALES PELIGROSOS:** Incineración de residuos peligrosos y el control de la contaminación ambiental del aire Incineración de residuos peligrosos (IRP)[Consulta : 04 de Diciembre 2017]. Disponible en web:<[http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit\\_Spanish/Todos\\_los\\_m%C3%B3dulos/MGRP\\_Modulo\\_6a\\_2311.pdf](http://www.global-chemicals-waste-platform.net/fileadmin/files/Toolkit_Spanish/Todos_los_m%C3%B3dulos/MGRP_Modulo_6a_2311.pdf)>

**Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos**(Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration.) Documento BREF. Serie Prevención y Control

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN  
ENERGY EFFICIENCY IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS: SLUDGE ON-SITE INCINERATION

Integrados de la Contaminación (IPPC) Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino  
2011. ISBN: 978-84-491-1147-1

**Nueva instalación de valorización de lodos de la EDAR de Galindo .Revista RETEMA Octubre 2015.[Consulta 14 de enero 2018]Disponible en web:< [www.retema.es](http://www.retema.es)>**

Palacios Izaguirre, Juan. *Incineración de lodos como alternativa en la línea de fangos de una EDAR. EDAR La Cartuja (Zaragoza)*. VEOLIA. 2013 [Consulta 25 de octubre 2017]Disponible en web:<<http://catedramln.unizar.es/files/conferencias/lodos2013/Palacios.pdf>>

PARR 1261 Bomb Calorimeter [Consulta: 05 de febrero 2018] Disponible en web:< [www.parrinst.com/es/products/...bomb-calorimeters/previous-calorimeter-models](http://www.parrinst.com/es/products/...bomb-calorimeters/previous-calorimeter-models)>

Relea, Jaume. **La incineración de lodos: una solución viable, segura y con futuro.** DEGRÉMONT, S.A.Revista RETEMA mayo-junio 2010. <https://www.retema.es/>

Villanueva 2007.**Valorización Energética de Lodos en la EDAR de Galindo del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia. presentacion ppt en Jornada técnica ATEGRUS**  
[http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/jornadatecnica003/26\\_villanueva.pdf](http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/jornadatecnica003/26_villanueva.pdf)

SOFTWARE **e!sankey** para la realización de diagramas de Sankey. [Consulta 08 de junio 2018] Disponible en web <<https://www.ifu.com/e-sankey/>>



