

# Tratamiento de aguas contaminadas con compuestos orgánicos volátiles. Evapo-oxidación

David Castillo  
Kalfrisa, S.A.

Eduard Bes  
Ambitech Projects, S.L.

## Summary

Text

### Introducción

Actualmente algunos de los residuos líquidos son tratados de forma inapropiada desde el punto de vista de eficiencia energética, ya que si no se dispone de una tecnología adecuada a sus características se tiende a destinarlo a vías de tratamiento más agresivas y más costosas, económica y ambientalmente.

Por su lado, las empresas gestoras-tratadoras de residuos precisan de tecnologías que las diferencien de la competencia en cuanto a aptitud técnica y

distanciamiento económico, para poder ampliar el abanico de residuos admisibles en sus instalaciones.

Los residuos apropiados para ser tratados por evapo-oxidación son aguas de carácter orgánico (no organohalogenados), con presencia o no de sales y otros compuestos inorgánicos (derivados del nitrógeno, del azufre...), poder calorífico inferior (PCI) bajo, que no presentan carácter inflamable ni disolventes y con valores de DQO significativos.

La **figura 1** ubica de forma representativa la tecnología en comparación con otras técnicas disponibles.

Además, es especialmente adecuada para residuos de baja biodegradabilidad, ya por tóxicos o biorrefractarios.

De forma general, los rangos del residuo donde es aplicable son los que se recogen en la **tabla 1**.

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de evapo-oxidación se resume en la **figura 2**.

La instalación consta de cuatro subsistemas:

- Evaporación: parte fundamental en cuanto a separación del tratamiento.
- Oxidación térmica con recupera-

ción de calor: eliminación de materia orgánica y eficiencia energética.

- Lavado de gases: Impacto atmosférico de las emisiones.
- Almacenamiento.

Estas etapas conforman la secuencia de proceso, en base a la cual se consigue el tratamiento de los residuos acuosos, reduciendo su impacto en el medio al minimizar la cantidad final de dichos efluentes.

Un diseño adecuado para la tipología del residuo a tratar y una ejecución precisa suponen el éxito del sistema y permiten su adecuación y adaptación a los cambios que la explotación requiera.

A continuación se describe cada uno de los subsistemas.

### Evaporación

Esta etapa consta de una evaporación flash adiabática a presión cuasiatmosférica que separa la parte acuosa del residuo a tratar, previamente calentado en un intercambiador con vapor generado en la caldera de recuperación. Los vapores acuosos contienen la carga orgánica volátil (entre un 1 y un 5%) que se hallaba en la matriz acuosa, destilándola conjuntamente y vehiculándola hacia la etapa de degradación térmica posterior. Una serie de restriccio-

## UN DISEÑO ADECUADO AL RESIDUO A TRATAR Y UNA EJECUCIÓN PRECISA SUPONEN EL ÉXITO DEL SISTEMA Y PERMITEN SU ADAPTACIÓN A LOS CAMBIOS QUE REQUIERA.

nes intermedias a lo largo de este trayecto segrega las microgotas y condensados que pudieran ser arrastrados con la corriente de vapores y evita, de este modo, su entrada en la cámara de oxidación, cosa que incrementaría el consumo energético y reduciría le eficacia depurativa.

El concentrado se encuentra en continua recirculación y ligeramente presurizado y se va alimentando con residuo fresco que se incorpora al bucle en una proporción inferior al 2-3%. De esta manera, el descenso de entalpía puede ser asumido por el aporte calorífico del intercambiador sin disfunciones en la transferencia energética y para evitar un sobredimensionamiento del equipo.

Contenido en agua	> 80%
Contenido en orgánicos volátiles	0-5%
pH	Variable (ajustable)
Poder calorífico inferior	< 1.000 kcal/kg
Punto de inflamación	> 55 °C
Otros contaminantes	Salas, amonio, compuestos con azufre

Figura 1 comparación de tecnologías de tratamiento de residuos

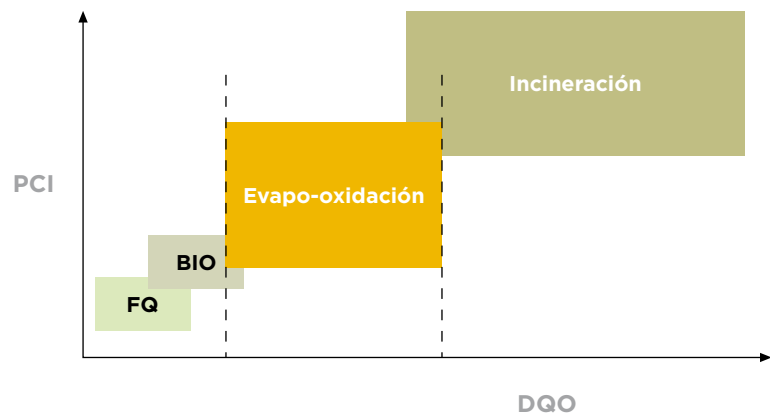
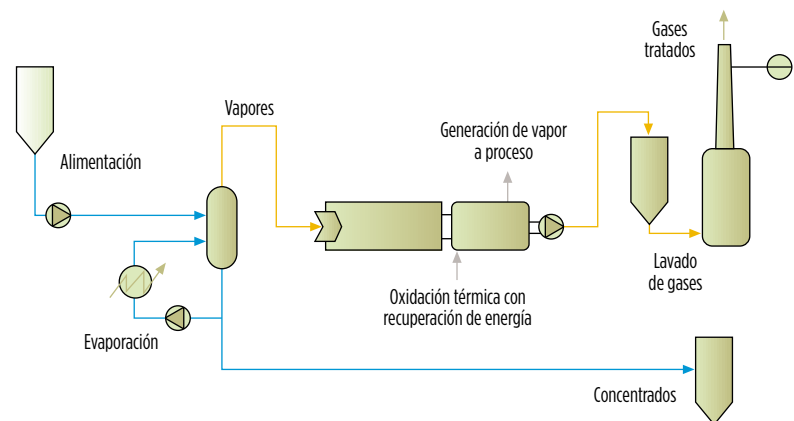


Figura 2 proceso de evapo-oxidación



Paulatinamente, de forma continua o discontinua en función de las condiciones de operación, se realiza la purga de concentrado hacia el tanque destinado a almacenamiento. La proporción de concentrado purgado suele situarse entre el 5 y el 20% de la alimentación, siendo el valor del 10% el estándar de diseño. A pesar de esta concentración y el contenido en materia orgánica pesada y sales, además de otros productos inorgánicos, la temperatura a la que se encuentra el efluente (entre 100 y

110 °C) lo mantiene fluido y perfectamente bombeable.

A modo de ejemplo, se muestran en la tabla 2 dos aplicaciones para una separación típica vapores: concentrados de 90:10.

Un apartado importante en esta fase es la del calentamiento de las aguas para llegar a la temperatura necesaria de evaporación, que se encontrará entre los 105 y 115 °C,



Vista exterior de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante evapo-oxidación

**Tabla 2** Ejemplos para una separación típica de vapores

Caso	Entrada	Fondo	Cabeza, a oxidación térmica	
	Agua contaminada	Concentrados	Vapores con orgánicos ligeros	
<b>a</b>	2 m <sup>3</sup> /h	0,2 m <sup>3</sup> /h	1.800 kg/h	2.240 Nm <sup>3</sup> /h
<b>b</b>	5 m <sup>3</sup> /h	0,5 m <sup>3</sup> /h	4.500 kg/h	5.537 Nm <sup>3</sup> /h

**Tabla 3** Requerimientos energéticos para los casos propuestos

Caso	Entrada	Energía intercambiada	Vapor saturado necesario a 7 bar
	Agua contaminada		
<b>a</b>	2 m <sup>3</sup> /h	1,3 Mcal/h	2.500 kg/h
<b>b</b>	5 m <sup>3</sup> /h	3,5 Mcal/h	6.000 kg/h

atendiendo a la concentración y al contenido de agua.

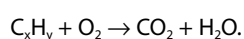
Para los dos escenarios propuestos, los requerimientos energéticos proporcionados por el intercambiador serán los reflejados en la **tabla 3**.

El vapor se obtiene de la siguiente etapa.

### Oxidación térmica

#### Fundamentos

La oxidación térmica es un proceso que consiste en someter a los compuestos orgánicos a una temperatura adecuada, durante el tiempo preciso y con presencia de oxígeno para que se verifique la reacción:



Esta reacción implica la desaparición del compuesto orgánico volátil (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>), creándose dióxido de carbono y agua.

Los parámetros de proceso para la oxidación térmica están entre 750 y 1.200 °C, durante 0,8 a 2 segundos, dependiendo de la naturaleza del compuesto a oxidar térmicamente. En la aplicación a los residuos en cuestión se suele operar a alrededor de 850 °C y 1,2 segundos. El diseño de la cámara de oxidación permite la mezcla adecuada con el oxígeno.

#### Combustibles y consumo

El aporte energético preciso para elevar la temperatura desde la llegada de la evaporación hasta la oxidación proviene dos fuentes:

- El propio compuesto orgánico, ya que la reacción de oxidación es exotérmica, es decir, libera energía. La energía aportada por este hecho repercute en un ahorro energético, al no tener que ser obtenida por otro combustible. Los dos parámetros que definen este aporte energético son la concentración y el PCI (poder calorífico inferior).
- Los combustibles usados tradicionalmente: gas natural, gas propano y gasoil. No obstante, existe la posibilidad de valorizar otro tipo de combustibles, punto de especial relevancia en los centros de tratamientos de residuos; ya que se puede adaptar para quemar biogás, aceite recuperado, etc. Para esta utilización es preciso tener en cuenta la composición, ya que puede tener repercusión sobre la instalación de un sistema de lavado de gases, como por ejemplo en el caso de que el combustible contuviese azufre.

La **tabla 4** recoge el cuadro de consumos energéticos para varios escenarios, de concentración y PCI, para los dos casos del apartado anterior.

#### Aprovechamiento energético

Una vez realizada la oxidación térmica, el vapor de agua ya se encuentra exento de carga orgánica, cumpliéndose de esta manera el objetivo principal del proceso, que es la eliminación del residuo.

Tal y como se ha descrito anteriormente, los gases de la cámara se encuentran a una temperatura aproximada de 850 °C, lo

## LA GENERACIÓN DE VAPOR ES UNA DE LAS MEJORES MANERAS DE OBTENER UN BUEN BALANCE ENERGÉTICO, YA QUE SE PUEDE USAR PARA CALENTAR EL AGUA PARA DESTILACIÓN SÚBITA.

cual implica que contienen una gran cantidad de energía, que debe ser aprovechada de una manera adecuada.

Cada uno de los casos estudiados tendría un volumen de gases diferentes (**tabla 5**).

Las vías tradicionales de recuperación apuntan a vapor de agua, agua caliente, fluido térmico, aire caliente, así como sus posibles combinaciones. Dependiendo del

**Tabla 4** Cuadro de consumos energéticos para varios escenarios, de concentración y PCI, para los casos propuestos

CASO	Vapor a oxidar		PCI kcal/kg	Gas natural Nm <sup>3</sup> /h	Propano Nm <sup>3</sup> /h	Gasoil kg/h	Ac. recuperado kg/h
	kg/h	Nm <sup>3</sup> /h					
a	1.800	2.240	0	215	90	185	195
			200	130	55	115	120
			500	14	8	15	18
b	4.500	5.537	0	535	240	460	485
			200	295	140	275	290
			500	20	12	18	22

Cálculos realizados, adiabáticamente, con los siguientes parámetros:

- Temperatura de los gases: ..... 850 °C
- Conc. de O<sub>2</sub> en los gases de salida: ..... 6%
- PCI de los combustibles: ..... Gas natural: ..... 9.043 kcal/Nm<sup>3</sup>  
Propano: ..... 23.373 kcal/Nm<sup>3</sup>  
Gasoil: ..... 10.198 kcal/kg  
Aceite recuperado: ..... 9.629 kcal/kg
- Estequiometrias aire/combustible: ..... Gas natural: ..... 10/1  
Propano: ..... 24,5/1  
Gasoil: ..... 11,3/1  
Aceite recuperado: ..... 10,6/1

volumen de gases calientes, relacionados con el volumen de líquido de tratamiento, se puede incluso producir electricidad mediante una turbina de vapor.

Conocer las necesidades de la planta o centro, junto con un estudio de rentabilidad teniendo en cuenta los distintos aspectos, es la mejor manera de determinar la mejor vía de aprovechamiento energético.

En una primera aproximación, la generación de vapor es una de las mejores maneras de obtener un buen balance energético, ya que éste puede ser usado en la etapa de evaporación para calentar el agua hasta la temperatura apropiada para destilación súbita.

**Otros puntos interesantes asociados a la oxidación**

Existen posibilidades que pueden ser de utilidad para el usuario, como por ejemplo:

- Eliminación de residuos en fase líquida a inyectar en la cámara. Esta técnica permite, mediante una lanza de pulverización, introducir de forma controlada y compatible con la oxidación térmica líquidos que reúnan las condiciones físico-químicas adecuadas.
- Se pueden instalar quemadores que sean capaces de funcionar con más de un combustible, de esta manera se consigue mayor flexibilidad. Se abre la posibilidad de usar algún combustible

**Tabla 5** Volumen de gases para los casos propuestos

Caso	Vapor tratado	Gases de escape*
a	1.800 kg/h, 1.120 Nm <sup>3</sup> /h	≈ 5.500 Nm <sup>3</sup> /h a 850 °C
b	4.500 kg/h, 4.480 Nm <sup>3</sup> /h	≈ 15.500 Nm <sup>3</sup> /h a 850 °C

\* Valores medios teniendo en cuenta todos casos tratados

**Tabla 6** Producciones de vapor saturado de agua

Caso	Gases de escape, 850 °C	7 bar, 167 °C	kg/h, 10 bar, 180 °C	kg/h, 16 bar, 202 °C
a	≈ 5.500 Nm <sup>3</sup> /h	2.350 kg/h	1.900 kg/h	1.800 kg/h
b	≈ 15.500 Nm <sup>3</sup> /h	6.700 kg/h	6.100 kg/h	5.900 kg/h

Cálculos realizados, adiabáticamente, con los siguientes parámetros:

- Temperatura de agua de alimentación: ..... 100 °C
- Temperatura de salida de gases: ..... 7 bar: ..... 195 °C  
10 bar: ..... 210 °C  
16 bar: ..... 230 °C

residual, solamente usando otro como apoyo en caso de no producirse en cantidad suficiente.

- Asimismo, existe la posibilidad de precalentar el aire de aporte a la cámara. Por medio de este sistema se consigue precalentar hasta una cierta temperatura, y por consiguiente reducir el consumo energético de combustible en la cámara de oxidación.

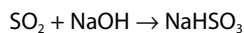
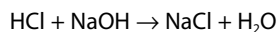
**Lavado de gases**

Para dar cumplimiento a la normativa vigente en materia de emisiones de gases contaminantes, y teniendo en cuenta que en la etapa de evaporación se acaban arrastrando pequeñas cantidades de compuestos con cloro y azufre, es indispensable establecer los mecanismos de control de dichas evacuaciones.

Para ello la instalación se encuentra pro-

vista de un sistema de lavado de gases fundamentado en el enfriamiento de los mismos con agua en quench y una posterior neutralización de los componentes contaminantes (mayoritariamente HCl y SO<sub>2</sub>), que le confieren carácter ácido al gas de combustión, mediante la neutralización en columna de lavado (scrubber) con sosa cáustica diluida.

El proceso de neutralización es simple y supone básicamente la consecución de las dos reacciones siguientes:



Las sales resultantes (NaCl y NaHSO<sub>3</sub>) proporcionan un aumento de conductividad del medio acuoso recirculante que se utiliza para la neutralización, con lo que mediante un control de salinidad (conductímetro), se efectúan purgas de la columna cuando se supera el valor de consigna establecido.

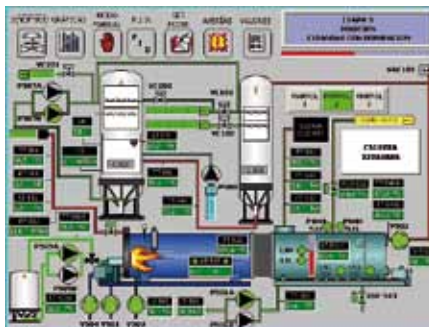
La correspondiente disminución del nivel de agua tiene que ser corregida inmediatamente mediante un nuevo aporte automático de agua, ya sea de red o reutilizada. Además se debe disponer de líneas de agua adicionales (agua contra incendios, agua residual...) que, en caso de fallo de las anteriores, permita abastecer al sistema.

Adicionalmente, el proceso de refrigeración necesario que se lleva a cabo en el quench para proteger los materiales de la propia instalación de lavado de gases, se entiende fundamental. Por lo tanto, disponer de fuentes de agua de reserva es indispensable como seguridad ante



Vista parcial de la planta

**Figura 3**  
visualización Scada de los parámetros de operación



una eventual subida de temperatura del gas proveniente de la caldera por fallo en etapas anteriores.

La emisión se completa con un sistema de muestreo continuo en chimenea y análisis en caseta para control de los valores emitidos a la atmósfera. Normalmente se monitorizan parámetros de operación (temperatura, caudal, presión, contenido en oxígeno) y algunos contaminantes (CO, HCl, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>), visualizándolos en un Scada para las actuaciones pertinentes.

**Almacenamiento**

La alimentación de la evaporación tiene que ser lo más uniforme posible en cuanto a la calidad (naturaleza) del residuo, ya que variaciones repentinas de las cantidades de agua del efluente o de su concentración en sales y, sobre todo, en materia orgánica ligera, puede crear alteraciones en el funcionamiento del sistema y, en consecuencia, problemas de eficiencia y seguridad.

Para ello es imprescindible contar con depósitos homogeneizados por agitación o recirculación que rompan las estratificaciones que puedan ocasionarse por diferencias de densidad.

Un análisis exhaustivo en laboratorio de los residuos a tratar, así como la simulación a pequeña escala del proceso para conocer comportamientos, compatibilidades y condiciones de trabajo, facilita la operativa y aumenta la eficacia de la producción.

En cuanto a la recepción de los concentrados generados en el evaporador, la condición básica es que deben mantenerse calientes para evitar saturaciones y cristalizaciones en el interior del depósito que complicarían el proceso de vaciado y gestión posterior. Para ello es suficiente con aplicar el calorifugado apropiado. ®

**CONCLUSIONES**

El sistema de evapo-oxidación destinado a tratar efluentes acuosos residuales orgánicos con presencia de sales permite abarcar un amplio espectro de residuos que no podrían ser procesados por otros sistemas.

La destrucción de los vapores orgánicos ligeros supone una reducción efectiva del residuo resultante (tan sólo queda el concentrado) y no se requieren procesos posteriores (biológico, fisicoquímico) para tratarlos (cabe mencionar que normalmente

los vapores son tóxicos para sistemas biológicos y presentan una DQO demasiado alta).

La reducción de la cantidad del residuo supone un ahorro significativo en los costes de gestión y transporte, limitando, también, los riesgos del mismo.

El proceso está especialmente dedicado a gestores y tratadores de residuos, siendo recomendada también su aplicación para sectores manufactureros que generen gran cantidad de residuos de estas

características y que tengan unos costes de eliminación elevados (industria farmacéutica, petroquímica, gráfica, metalmecánica, automoción...).

La combinación de un sistema de oxidación y un lavado de gases permite un tratamiento completo de los distintos contaminantes que pueden estar presentes.

La posibilidad de recuperación de energía, e incluso el uso de algún residuo como combustible para el mismo proceso, aporta un balance energético global ventajoso.