

# INCINERACION de RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Arturo Romero Salvador.

Dpto. de Ingeniería Química. Facultad de CC. Químicas. Universidad Complutense de Madrid.  
28040 Madrid. Fax: 34-91-3944171

## Resumen

La incineración es uno de los procesos térmicos que pueden aplicarse en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos para disminuir su cantidad y aprovechar la energía que contienen. Los aspectos medioambientales que causan mayor preocupación son las emisiones atmosféricas, especialmente las dioxinas y furanos, y las escorias y cenizas formadas. La heterogeneidad de los materiales a tratar y los niveles de emisión impuestos por las normas legales ha obligado a desarrollar o adaptar unas tecnologías específicas para este proceso. Los aspectos socioeconómicos ponen de manifiesto que se requieren elevadas inversiones, grandes costes de operación y, en general, una fuerte oposición popular.

## 1.- Introducción

Durante las últimas décadas, la mayoría de los países industrializados con densidades de población elevadas han empleado la incineración como procedimiento, alternativo al vertedero controlado, para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos. La utilización de esta tecnología permite reducir en gran medida el peso (75%) y el volumen (90%) de los residuos a tratar y, además, obtener energía. Son precisamente el poder calorífico del material a incinerar y el potencial contaminante de las emisiones dos motivos que han hecho evolucionar los sistemas de incineración hacia procedimientos capaces de alcanzar mayores rendimientos en la combustión y mayor eficacia en la eliminación de contaminantes.

La incineración ha sido objeto de críticas desde el punto de vista medioambiental debido a la formación de sustancias muy tóxicas, dioxinas y furanos, que junto a diferentes metales pesados pueden ser emitidos por estas instalaciones. Las disposiciones y normas legales que limitan las emisiones de las incineradoras son cada vez más estrictos de modo que para conseguir su cumplimiento ha sido necesario desarrollar nuevas tecnologías para el sistema de combustión y para el sistema de depuración de gases.

Actualmente la incineración debe contemplarse como una de los posibles elementos que configuran los sistemas de gestión integrada de los residuos sólidos. En estos sistemas debe procederse a la reducción de la generación de residuos, a la recuperación de los materiales reciclables y finalmente al tratamiento y eliminación de los residuos inevitables y no reciclables. Es en esta última etapa donde la incineración compite con otros procesos térmicos o biológicos como tratamiento previo al vertido de los residuos no reciclables en el terreno.

## 2.- El Horno y la Combustión

La combustión de los residuos sólidos es un proceso complejo en el que, a los diferentes fenómenos de secado, deshidratación, gasificación, etc., se une la heterogeneidad de la

alimentación. En este proceso es indispensable operar con un exceso de aire para asegurar la combustión completa y para evitar que la temperatura sea demasiado elevada ( $T > 1100^{\circ}\text{C}$ ) y pueda ablandar y fundir las cenizas y escorias. La formación de óxidos de nitrógeno también se reduce cuando se controla la temperatura de la cámara. Para que la combustión sea completa es necesario conseguir un buen contacto entre los reactantes, es decir, entre el aire y los sólidos y que el tiempo de permanencia de cada uno de los materiales sea, en las condiciones de temperatura y presión parcial de oxígeno fijadas, superior al de conversión completa.

Existe una gran variedad de hornos para lograr la combustión de los residuos en condiciones adecuadas. Los hornos de parrillas fijas, los de parrillas móviles, con diferentes tipos de parrillas y movimientos, los hornos rotatorios, los lechos fluidizados burbujenates o los lechos fluidizados recirculantes son ejemplos de equipos empleados en las instalaciones industriales. Los lechos fluidizados ofrecen las condiciones de operación apropiadas para una buena combustión. La agitación del lecho, la inercia térmica y la elevada superficie de contacto entre las partículas permiten alcanzar una aproximación razonable a la isothermicidad del lecho. La mezcla que se logra en los lechos fluidizados mejora la reactividad de los residuos ya que alcanzan rápidamente los valores de la temperatura de operación. Estas cualidades permiten que los lechos fluidizados sean poco sensibles a las variaciones en el poder calorífico, logren una recuperación energética elevada al no requerir un gran exceso de aire, obtengan unas escorias con una fracción de inquemados pequeña ( $< 0,5\%$ ), razonablemente “duras”, permitan un buen control del proceso y fácil mantenimiento. A pesar de las desventajas que presentan frente a otras alternativas como son su mayor consumo de energía, los mayores costes de inversión o la menor capacidad ofrecen una ventaja fundamental, mejor comportamiento ambiental ya que disminuye la formación de  $\text{NO}_x$ , permite introducir cal o dolomita para retener  $\text{SO}_2$  y también desciende el nivel de  $\text{CO}$  <sup>(1)</sup>.

Para asegurar la destrucción de las moléculas orgánicas complejas, que pueden salir con los gases de combustión, se someten estos gases a un proceso adicional en el cual la temperatura es superior a  $850^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo no inferior a 2 segundos y con un contenido de oxígeno superior al 6%. Estos gases se introducen en una caldera de recuperación para producción de vapor con el que pueda obtenerse energía eléctrica por medio de una turbina. En ocasiones se combinan con turbinas de gas para mejorar el rendimiento energético de la planta.

### **3.- Depuración de gases**

Las emisiones procedentes de una incineradora deben cumplir los límites que fijan las normas legales por lo que es preciso dotar a la instalación de una serie de técnicas capaces de destruir o retener los diferentes tipos de contaminantes. A medida que van disminuyendo los límites de las emisiones aumenta la complejidad del proceso de depuración. Independientemente de los niveles fijados es preciso disminuir la concentración de un conjunto de contaminantes que se comentan a continuación. Los valores numéricos para cada uno de ellos corresponden a los valores representativos de una incineradora moderna, valores que son inferiores a los establecidos por la legislación.

#### Partículas

Forman parte de estas partículas las cenizas volantes y los finos arrastrados en el horno, los componentes condensados y los reactivos y productos de reacción formados como consecuencia de los compuestos empleados en equipos de depuración para otros contaminantes. Por ello, el método de retención depende tanto del tipo de horno como del sistema de depuración general. La propia caldera de recuperación constituye un elemento de eliminación de partículas que complementado con ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros de mangas o filtros cerámicos limita las emisiones a valores inferiores a  $10 \text{ mg/Nm}^3$  pudiendo alcanzarse valores entre 10 y 100 veces menores.

Muchos metales pesados solo aparecen en fase sólida, Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, con lo cual sus emisiones dependerán de que se realice una adecuada separación de los materiales que los contengan y de la eficacia de la tecnología empleada para retener las partículas.

Los restantes metales pesados de interés medioambiental, Cd, Hg, As, aparecen tanto en las partículas sólidas como en la fase gaseosa. Por este motivo su retención requiere el empleo de una técnica adicional.

#### Monóxido de carbono y sustancias orgánicas

Los sistemas de depuración de gases no incorporan equipos específicos para destruir o retener estos contaminantes por lo que la mayor o menor concentración en los gases emitidos depende del comportamiento de la combustión. El comportamiento del horno y de la cámara de postcombustión son los que permiten que el monóxido de carbono no alcance los  $50 \text{ mg/Nm}^3$  y las sustancias orgánicas los  $10 \text{ mg/Nm}^3$ .

#### Gases ácidos: $\text{SO}_2$ , HCl, HF

Los tres componentes ácidos  $\text{SO}_2$ , HCl (compuestos inorgánicos con cloro) y HF (compuestos inorgánicos con fluor) se forman en el proceso de combustión a partir de los residuos alimentados. En consecuencia, las cantidades formadas dependen directamente de la composición de los residuos incinerados. Su retención puede efectuarse de diferentes maneras.

En el horno de combustión puede incorporarse carbonato cálcico y con una buena mezcla en su interior y un tiempo de residencia suficientemente elevado se logran retenciones del 90% para azufre y fluor y del 50% para el cloro. Los productos formados son sólidos que abandonan el sistema formando parte de las escorias y de las cenizas en forma de sales cálcicas.

Cuando en la corriente de gases se introduce un neutralizador (normalmente cal) en forma pulverizada se dispone de un procedimiento en seco que se caracteriza por un consumo alto de reactivos y la consecución de rendimientos medios. En el procedimiento semiseco se atomiza la lechada de cal en el flujo gaseoso con lo que disminuye el consumo de reactivos y permite alcanzar buenos rendimientos. En ambos casos no existe vertido de agua. El procedimiento húmedo permite obtener rendimientos altos y bajos consumos de reactivos reteniendo incluso otros contaminantes (partículas,  $\text{NO}_x$ ) pero se generan aguas de lavado que es preciso tratar antes de su vertido. La elección adecuada del proceso permite que HCl sea

inferior a 10 mg/Nm<sup>3</sup>, que HF sea menor que 2 mg/Nm<sup>3</sup> y que el SO<sub>2</sub> no supere los 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

### Dioxinas y furanos

Las fuentes naturales de estos compuestos están relacionadas con el fuego o los procesos de combustión, como los incendios forestales, la caída de rayos o la acción volcánica y en general, cuando se produce la combustión de hidrocarburos en presencia de compuestos de cloro <sup>(2)</sup>. En la incineración de residuos sólidos aparecen los elementos necesarios para que sea posible la formación de dioxinas y furanos. Desde que Olie <sup>(3)</sup> encontró niveles elevados de estos organoclorados en emisiones gaseosas y en cenizas de incineradoras y posteriormente en la leche de las vacas de las granjas cercanas a la incineradora, se considera a este proceso como la fuente más importante de generación de dioxinas y furanos. Normalmente aparecen en concentraciones tan pequeñas que su unidad de medida es el nanogramo, lo cual obliga a utilizar procedimientos de muestreo y métodos analíticos adecuados a este problema.

La destrucción de estos contaminantes y también la de sus precursores se logra cuando la combustión es correcta y se mantienen la temperatura de postcombustión por encima de 850°C durante más de 2 segundos con una concentración de oxígeno superior al 6%. Sin embargo, es posible encontrar estos contaminantes al final del sistema de depuración, debido a que se forman de nuevo. La síntesis de estas dioxinas *ex novo* se produce en un intervalo de temperatura comprendido entre 200°C y 400°C, cuando existe una fuente de carbono y partículas con contenido metálico, que actúan como catalizadores. Por ello es fundamental, para minimizar la formación *ex novo* una combustión correcta y un descenso brusco de la temperatura de 400°C a 200°C para que el tiempo durante el cual los gases se encuentran dentro de este intervalo sea lo más pequeño posible. A pesar de estas medidas debe esperarse su formación en cantidades, aunque muy pequeñas, suficientemente elevadas para que su valor sea superior a 0,1 ng/Nm<sup>3</sup>, límite para estos contaminantes. Por esta razón el sistema de depuración de gases debe incorporar un procedimiento capaz de garantizar que las emisiones cumplen el límite establecido. Frente a los procesos de destrucción de dioxinas por métodos catalíticos, catalizadores tipo SCR, las técnicas de adsorción sobre carbón activo son las que se emplean en las instalaciones industriales. El procedimiento de corriente volante que incorpora carbón activo en polvo en los gases de salida permite conseguir retenciones superiores al 90% siempre que el contacto sea suficientemente eficaz. También se retienen otros contaminantes, como los metales pesados en fase gas, pero tiene el inconveniente del consumo continuo de un material costoso que pasa a formar parte de las cenizas volantes que se recogen en el último equipo de filtrado. Para evitar este inconveniente se ha propuesto el empleo de los monolitos de carbón activo antes de que los gases de escape lleguen a la chimenea <sup>(4)</sup>.

### **Referencias**

- (1) *Warmer Bulletin* nº 47, Nov. 1995, pag. 23.
- (2) Fielder, H.; O. Hutzinger y C.W. Timms. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 1990, 29, pp. 157-234.
- (3) Olie, K.; P.L. Vermuelen y O. Hatzinger. *Chemosphere*, 1977, 8, 445-459.
- (4) Blanco, J. y A. Romero. PCT/ES98/00053

