



## Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

**Nombre de la Tecnología:** Incinerador Catalítico

A este tipo de incinerador también se le refiere como un oxidador catalítico, o reactor catalítico.

**Tipo de Tecnología:** Destrucción por oxidación

### **Contaminantes Aplicables:**

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) y varios tipos de materia particulada (MP). En tiempos pasados, los incineradores catalíticos no eran recomendables como un dispositivo de control para la MP puesto que la MP, a menos de que fuera removida previo a la incineración, frecuentemente ocultaba el catalizador de manera que los sitios activos del catalizador eran incapaces de ayudar en la oxidación de contaminantes en la corriente de gas (*EPA, 1998: Environmental Protection Agency - la Agencia para la Protección del Ambiente en EE. UU.*). Como ejemplo se mencionan los gases que contienen cloro, azufre y otros átomos tales como fósforo, bismuto, plomo, arsénico, antimonio, mercurio, óxido férrico, estaño y zinc que pudieran desactivar los catalizadores de metales nobles (*EPA, 1991*).

Sin embargo, recientemente se han perfeccionado catalizadores que pueden tolerar casi cualquier compuesto. La mayoría de estos catalizadores son óxidos sencillos o una mezcla de metales, que con frecuencia está sostenido por un portador mecánicamente fuerte tal como varios tipos de alumina. Los catalizadores tales como cromia/alumina, el óxido de cobalto, y óxido de cobre/óxido de manganeso han sido usados para la oxidación de gases que contienen compuestos clorinados. Los catalizadores basados en platino son activos para la oxidación de COV que contienen azufre, aunque son desactivados rápidamente por la presencia de cloro (*EPA, 1996a*).

### **Límites de Emisión Alcanzable/Reducciones:**

La eficiencia de destrucción de COV depende de la composición y concentración de COV, la temperatura de operación, la concentración de oxígeno, las características del catalizador, y la *space velocity* (velocidad en el espacio). La velocidad en el espacio se define comúnmente como el flujo volumétrico de gas entrando en la cámara de la cama del catalizador, dividido por el volumen de la cama del catalizador. La relación entre la velocidad en el espacio y la eficiencia de destrucción está fuertemente influenciada por la temperatura de operación del catalizador. A medida que aumenta la velocidad en el espacio, disminuye la eficiencia de destrucción de COV, ya a medida que aumenta la temperatura, aumenta la eficiencia de destrucción de COV. Como ejemplo, una unidad catalítica operando a aproximadamente 450°C (840°C) con un volumen del lecho del catalizador de 0.014 a 0.057 metros cúbicos ( $m^3$ ) (0.5 a 2 pies cúbicos ( $ft^3$ )) por 0.47 metros cúbicos a condiciones estándares por segundo ( $m^3/s$ ) (1,000 standard cubic feet per minute (scfm - pies cúbicos estándar por minuto) de gas de emisión pasando a través del dispositivo puede alcanzar una eficiencia de destrucción de COV del 95 por ciento (*EPA, 1992*). Se pueden lograr mayores eficiencias de destrucción (98-99 por ciento) pero requieren mayores volúmenes de catalizador y/o temperaturas más altas, y son diseñados generalmente en base a un sitio específico (*EPA, 1991*).

En el Inventario Nacional para 1990 de la *EPA*, se reportó que los incineradores como grupo, incluyendo a los incineradores catalíticos, eran utilizados como dispositivos de control para MP y que alcanzaban una eficiencia de control de 25-99% para la materia particulada de 10 micras o menos de diámetro aerodinámico ( $MP_{10}$ ) en localidades de fuentes de punto (*EPA, 1998*). La tabla 1 presenta un análisis detallado de los

rangos de eficiencia de control de MP<sub>10</sub> por industria en donde los incineradores catalíticos han sido reportados (EPA, 1996b). La eficiencia de control de COV reportada para estos dispositivos varió dentro de un rango de 0 a 99.9%, sin embargo, se supone que los reportes de eficiencias más altas (mayores del 99%) son atribuibles a los incineradores térmicos. Estos rangos de eficiencia de control son grandes porque incluyen a las instalaciones que no poseen emisiones de COV y controlan únicamente MP, tanto como a las instalaciones que poseen emisiones bajas de MP y se preocupan ante todo por controlar COV (EPA, 1998).

Tabla 1. Eficiencias de Destrucción para los Incineradores Catalíticos y los Incineradores Catalíticos con Intercambiador de Calor, por Industria (EPA, 1996b)

Industria / Tipo de Fuentes	Eficiencia de Control de MP <sub>10</sub> (%)
<b>Productos de Petróleo y Carbón</b> procesos de techado de asfalto (soplado, saturación de fieltro); calcinación de minerales; procesos de refinamiento de petróleo (soplado de asfalto, descomposición térmica catalítica, calcinación de coque, convertidor de sedimento fangoso); manufactura de azufre	25-99.9
<b>Productos Químicos y Aliados</b> manufactura de carbón negro; manufactura de carbón; desecho de residuos líquidos; procesos químicos misceláneos; manufactura de pesticidas; manufactura de anhídrido ftálico (oxidación de xileno); manufactura de plásticos/fibra orgánica sintética; incineración de residuos sólidos (industriales)	50-99.9
<b>Industrias de Metales Primarios</b> procesos de derivados del coque (descarga del carbón, cargamento y empuje del horno, enfriamiento); cúpula de hierro gris y otros procesos misceláneos; procesos secundarios del aluminio (quemado/secado, horno de fundición); procesos secundarios del cobre (secado de chatarra, cúpula de chatarra, y procesos misceláneos); procesos misceláneos de la fundición de acero; horno para los recubrimientos de superficies	70-99.9
<b>Equipo Electrónico y Otros Eléctricos</b> procesos misceláneos de la manufactura química; horno para cocimiento de equipo eléctrico; tanque de techo fijo; procesos misceláneos de la producción de minerales; enrollado de aluminio/extrusión por extracción secundarios; incineración de residuos sólidos (industrial)	70-99.9
<b>Servicios Eléctricos, de Gas, y Sanitarios</b> motores de combustión interna, incineración de residuos sólidos (industrial, comercial/ institucional)	90-98
<b>Productos de Piedra, Arcilla y Vidrio</b> horno procesador de bario; secador termal para la limpieza del carbón, maquinaria para plásticos fabricados, manufactura de lana de fibra de vidrio	50-95
<b>Minería</b> secadora rotatoria para concreto de asfalto, unidades de oxidación por aire para químicos orgánicos, producción de azufre	70-99.6
<b>Servicios Educativos</b> incineración de desechos sólidos (comercial/institucional)	80
<b>Papel y Productos Aliados</b> caldera	95
<b>Imprenta y Publicación</b> secadora para recubrimiento de superficies; fugitivos	95

**Tipo de Fuente Aplicable:** Punto

**Aplicaciones Industriales Típicas:**

Los incineradores catalíticos pueden ser utilizados para reducir las emisiones provenientes de una variedad de fuentes estacionarias. Los procesos de evaporación de solventes asociados con las operaciones de recubrimiento de superficies e imprenta son una fuente principal de emisiones de COV, y la incineración catalítica es utilizada ampliamente por muchas industrias en esta categoría. Los incineradores catalíticos también son utilizados para controlar las emisiones de las siguientes fuentes:

- Ollas para el cocimiento de barnices;
- Hornos del núcleo de la fundición;
- Hornos para el procesamiento de papel filtro;
- Secadoras del barniz de la madera multilaminar;
- Estaciones de carga de gasolina en volumen;
- Válvulas de purga de proceso en la Industria Manufacturera de Químicos Orgánicos Sintéticos (IMQOS);
- Productos de caucho y manufactura de polímeros; y
- Manufactura de resinas de polietileno, poliestireno y poliéster.

La oxidación catalítica es más adecuada para sistemas con menores volúmenes de escape, cuando hay poca variación en el tipo y concentración de COV, y cuando los venenos catalíticos u otros contaminantes detrimentales como el silicón, el azufre, los hidrocarburos pesados y los particulados no están presentes.

**Características de la Corriente de Emisión:**

- Flujo de Aire:** Las velocidades típicas del flujo de aire para los incineradores catalíticos modulares son de 0.33 a 24 metros cúbicos a condiciones estándares por segundo ( $m^3/s$ ) (700 a 50,000 *scfm*) (EPA, 1996a).
- Temperatura:** Los catalizadores en los incineradores catalíticos causan que la reacción de oxidación ocurra a una temperatura menor de la que se requiere para la ignición térmica. El gas de desecho es calentado por quemadores auxiliares a aproximadamente 320°C a 430°C (600°F a 800°) antes de entrar al lecho catalítico (AWMA, 1992: *Air & Waste Management Association - la Asociación para el Manejo de Aire y Residuos de EE. UU.*). La temperatura máxima de escape de diseño del catalizador es típicamente de 540°-675°C (1000° - 1250°F).
- Carga de Contaminantes:** Los incineradores catalíticos pueden ser y han sido utilizados efectivamente a bajas cargas de entrada; hasta por debajo de 1 parte por millón por volumen (ppmv) o menos (EPA, 1995). Tal como con los incineradores termales y recuperativos, por consideraciones de seguridad, la concentración máxima de sustancias orgánicas en el gas de desecho debe ser sustancialmente menor del límite inflamable inferior (Límite Explosivo Inferior, o LEI) del compuesto específico que está siendo controlado. Como regla, un factor de seguridad de cuatro (esto es, el 25% del LEI) es usado (EPA, 1991; AWMA, 1992). El gas de desecho puede ser diluido con aire del ambiente, si fuera necesario, para reducir la concentración.
- Otras Consideraciones:** Las características de la corriente de entrada deben ser evaluadas en detalle, porque la sensibilidad de los incineradores catalíticos a las condiciones del flujo de la corriente de entrada de los COV, lo que puede causar la desactivación del catalizador (EPA, 1992).

### Requisitos para el Pre-tratamiento de la Corriente de Emisión:

Típicamente, no se requiere pre-tratamiento alguno si las condiciones de diseño son satisfechas, sin embargo, en algunos casos la remoción de la MP pudiera ser necesaria antes de que el gas de desecho entre al incinerador.

### Información de Costos:

A continuación se presentan los rangos de los costos (expresados en dólares EE. UU. del tercer trimestre de 1995) para incineradores catalíticos de diseño modular con lechos fijos bajo condiciones típicas de operación, desarrollados utilizando los formatos de la EPA para la estimación de costos (EPA, 1996a) y referidos a la velocidad del flujo volumétrico de la corriente de desecho tratada. Los costos no incluyen costos para un sistema de tratamiento de gases ácidos de post-oxidación. Los costos pueden ser sustancialmente más altos que los rangos mostrados cuando son utilizados para las corrientes con concentraciones bajas de COV (menores de alrededor de 100 ppmv). Como regla, las unidades más pequeñas que se encuentren controlando una corriente de desecho a una concentración baja serán mucho más costosas (por unidad de velocidad de flujo volumétrico) que una unidad grande limpiando un flujo con una carga alta de contaminantes. Los costos de operación y mantenimiento (O y M), el Costo Anualizado, y la Efectividad de Costo están dominados por el costo del combustible suplemental necesario.

- a. **Costo de Capital:** \$47,000 a 191,000 por m<sup>3</sup>/s (\$22 a \$90 por *scfm*).
- b. **Costo de Operación y Mantenimiento:** \$8,500 a \$53,000 por m<sup>3</sup>/s (\$4 a \$25 por *scfm*), anualmente.
- c. **Costo Anualizado:** \$17,000 a \$105,000 por m<sup>3</sup>/s (\$8 a \$50 por *scfm*), anualmente.
- d. **Efectividad de Costo:** \$105 a \$5,500 por tonelada métrica (\$100 a \$5,000 por tonelada corta), costo anualizado por tonelada por año de contaminante controlado. Sin embargo, cuando se le utiliza para controlar concentraciones muy bajas de contaminantes peligrosos del aire (menos de 100 ppmv), el costo por tonelada removida podría ser de muchos miles de dólares, porque solamente una pequeña parte del contaminante está siendo destruido.

### Teoría de Operación:

Los incineradores catalíticos operan de una manera muy similar a los incineradores termales/recuperativos, con la diferencia principal de que el gas, después de atravesar el área de la flama, pasa a través de un lecho de catalizador. El catalizador tiene el efecto de incrementar la velocidad de la reacción de oxidación, permitiendo al conversión a menores temperaturas de reacción que en las unidades de incineradores termales. Por lo tanto, los catalizadores también permiten un tamaño menor de incinerador. Los catalizadores utilizados típicamente para la incineración de COV incluyen el platino y el paladio. Otras formulaciones incluyen los óxidos metálicos, los cuales son usados en corrientes de gas que contienen compuestos clarinados (EPA, 1998).

En un incinerador catalítico, la corriente de gas es introducida a una cámara de mezclado donde también es calentada. El gas de desecho generalmente pasa a través de un intercambiador recuperativo de calor donde es precalentado por un gas de post-combustión. El gas calentado atraviesa enseguida el lecho de catalizador. El oxígeno y los COV emigran hacia la superficie del catalizador por medio de difusión gaseosa y son adsorbidos en los sitios activos del catalizador sobre la superficie del catalizador en donde enseguida ocurre la oxidación. Los productos de la reacción de oxidación a su vez son desorbidos de los sitios activos por el gas y transferidos de vuelta por difusión hacia la corriente de gas (EPA, 1998).

La materia particulada puede encubrir el catalizador rápidamente de manera que los sitios activos del catalizador son incapaces de ayudar en la oxidación de los contaminantes en la corriente de gas. Este efecto de MP sobre el catalizador se llama *blinding* (cegado), y al paso del tiempo desactivará el catalizador. Debido a que esencialmente toda la superficie activa del catalizador está contenida en poros relativamente pequeños, la MP no necesita ser grande para cegar al catalizador. No existen reglas generales con respecto a la concentración y tamaño de la MP que puede ser tolerado por catalizadores, porque el tamaño de los poros y el volumen de los catalizadores varían ampliamente. Esta información probablemente se puede obtener de los fabricantes de catalizadores (EPA, 1996a).

El método para hacer el contacto entre la corriente que contiene los COV y el catalizador sirve para distinguir los sistemas de incineración catalítica. Tanto los sistemas de lecho fijo como los de lecho fluido son utilizados.

Los incineradores catalíticos de lecho fijo pueden usar un catalizador monolítico o un catalizador de lecho modular (EPA, 1996a):

**Incineradores de Catalizador Monolítico.** El método más difundido para hacer contacto entre la corriente que contiene los COV y el catalizador es el catalizador monolítico. En este esquema el catalizador es un bloque sólido poroso que contiene canales paralelos no intersectantes alineados en la dirección del flujo de gas. Los monolitos ofrecen las ventajas de una atrición mínima debida a la expansión/contracción durante el arranque/apagado y una baja caída de la presión total.

**Incineradores Catalíticos de Lecho Empacado.** Un segundo esquema para hacer contacto es un lecho empacado sencillo en el cual las partículas de catalizador están sostenidas ya sea en un tubo o en bandejas poco profundas a través de las cuales pasa el gas. Este esquema no está en uso muy difundido debido a su caída de presión inherentemente alta, en comparación a un monolito, y el rompimiento de las partículas del catalizador debido a la expansión termal cuando el lecho encerrado de catalizador es calentado/enfriado durante el arranque/apagado. Sin embargo, el arreglo tipo bandeja de un esquema de lecho empacado, en donde el catalizador es granulado, es utilizado por varias industrias (por ejemplo, la impresión en offset de red por solidificación al calor). El catalizador granulado es ventajoso cuando están presentes grandes cantidades de contaminantes tales como los compuestos de fósforo o silicio.

Los incineradores catalíticos de lecho fluido tienen la ventaja de poseer velocidades muy altas de transferencia de masa, aunque la caída de presión total es más bien mayor que la de un monolito. Una ventaja adicional de los lechos fluidos es una alta transferencia del calor al lado del lecho en comparación a un coeficiente normal de transferencia de calor de gases. Esta mayor velocidad de transferencia de calor para calentar los tubos de transferencia sumergidos en el lecho permite mayores velocidades de liberación de calor por unidad de volumen de gas procesado y, por lo tanto, puede permitir que los gases de desecho con mayores valores de calentamiento sean procesados sin exceder las temperaturas máximas permisibles en el lecho de catalizador. En estos reactores el aumento de la temperatura de la fase gaseosa desde la entrada del gas a la salida del gas es bajo, dependiendo del grado de transferencia de calor a través de las superficies de transferencia de calor incrustadas en el lecho. Las temperaturas de los catalizadores dependen de la velocidad de reacción ocurriendo en la superficie del catalizador y la velocidad de intercambio de calor entre el catalizador y las superficies de transferencia de calor incrustadas en el lecho.

Como regla general, los sistemas de lecho fluido son más tolerantes a la MP en la corriente gaseosa que los catalizadores ya sea de lecho fijo o monolíticos. Esto es debido a el roce constante de los gránulos fluidizados de catalizador entre sí, que ayudan a remover la MP del exterior de los gránulos de manera continua. Una desventaja del lecho fluido es la pérdida gradual de catalizador por atrición. Sin embargo, se han perfeccionado catalizadores resistentes a la atrición para superar esta desventaja.

### **Ventajas:**

Las ventajas de los incineradores catalíticos sobre otros tipos de incineradores incluyen (AWMA, 1992; Cooper y Alley, 1994):

1. Menores requisitos de combustible;
2. Menores temperaturas de operación;
3. Pocos o ningún requisito de aislamiento;
4. Peligros de incendio reducidos;
5. Problemas de *flashback* (ráfaga hacia atrás) reducidos; y
6. Menor volumen/tamaño requerido.

### **Desventajas:**

Las desventajas de los incineradores catalíticos incluyen (AWMA, 1992):

1. Costo inicial alto;
2. Es posible el envenenamiento del catalizador;
3. El particulado seguido debe ser removido primero; y
4. El catalizador usado que no pueda ser regenerado pudiera necesitar ser desechado.

### **Otras Consideraciones:**

Los incineradores catalíticos ofrecen muchas ventajas para la aplicación apropiada. Sin embargo, la selección de un incinerador catalítico debe ser considerada cuidadosamente, ya que la sensibilidad de los incineradores catalíticos a las condiciones del flujo de la corriente de entrada de los COV y la desactivación del catalizador limitan su aplicabilidad para varios procesos industriales.

### **Referencias:**

AWMA, 1992. *Air & Waste Management Association, Air Pollution Engineering Manual*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Cooper & Alley, 1994. C. D. Cooper and F. C. Alley, *Air Pollution Control: A Design Approach, Second Edition*, Waveland Press, Inc. IL.

EPA, 1991. U.S. EPA, Office of Research and Development, "Control Technologies for Hazardous Air Pollutants," EPA/625/6-91/014, Washington, D.C., June.

EPA, 1992. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Control Techniques for Volatile Organic Emissions from Stationary Sources," EPA-453/R-92-018, Research Triangle Park, NC., December.

EPA, 1995. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Survey of Control Technologies for Low Concentration Organic Vapor Gas Streams," EPA-456/R-95-003, Research Triangle Park, NC., May.

EPA, 1996a. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "OAQPS Control Cost Manual," Fifth Edition, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC. February.

EPA, 1996b. U.S. EPA, "1990 National Inventory," Research Triangle Park, NC, January.

EPA, 1998. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.