



Hoja de Datos de Tecnología de Contaminación del Aire



1. Nombre de la Tecnología: Depurador - Placa de Impacción/Torre de Bandejas

Este tipo de tecnología es una parte del grupo de controles para la contaminación del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo.” Cuando son usados para controlar gases inorgánicos, también puede llamárseles “depuradores de gases ácidos.” Cuando se usan específicamente para controlar el bióxido de azufre (SO_2), el término desulfuración del gas de salida (DGS) también puede ser utilizado.

2. **Tipo de Tecnología:** Remoción de contaminantes del aire por impacción inercia o difusión, reacción con una pasta aguada de sorbente o reactivo, o absorción en un solvente líquido.

3. Contaminantes Aplicables:

Principalmente la materia particulada (MP), incluyendo la materia particulada menor o igual a 10 micras (μm) de diámetro aerodinámico (MP_{10}), materia particulada menor o igual a 2.5 μm de diámetro aerodinámico ($\text{MP}_{2.5}$), y contaminantes peligrosos del aire (CPA) en forma particulada (MP_{CPA}); y humos inorgánicos, vapores, y gases (por ejemplo, ácido crómico, ácido sulfhídrico, amoníaco, cloruros, fluoruros, y SO_2). Estos tipos de depuradores también pueden ser utilizados ocasionalmente para el control de compuestos orgánicos volátiles (COV). Los COV hidrófilo (solubles en agua) pueden ser controlados con un fluido ácuo, y los COV hidrófobo (solubles en aceite) pueden ser controlados con un bloque de co-polímero (*amphiphilic block polymer* - un producto de co-polimerización de hidrófilo e hidrófobo en el agua. Sin embargo, porque muy pocos datos existen para esta aplicación, los datos de COV no son presentados. Al utilizar la absorción como la técnica principal de control, el solvente gastado debe ser fácilmente regenerado o desechado de una manera aceptable para el ambiente (Ref. EPA, 1991).

4. Límites de Emisión Alcanzables/Reducciones:

MP: Las eficiencias de recolección de las torres con placas de impacción varían del 50 al 99 por ciento, dependiendo de la aplicación. Este tipo de depurador depende casi exclusivamente en la impacción por inercia para la recolección de la MP. Por lo tanto, la eficiencia de recolección disminuye a manera que el tamaño de las partículas disminuye. Los tiempos cortos de residencia también disminuirán la eficiencia del depurador para las partículas pequeñas. Las

eficiencias de recolección para las partículas pequeñas ($<1 \mu\text{m}$ de diámetro aerodinámico) son bajas para estos depuradores, por esto, no son recomendables para el control de MP fina (Ref. *EPA*, 1998).

Gases Inorgánicos: Los vendedores de dispositivos de control estiman que las eficiencias de remoción varían del 95 al 99 por ciento (Ref. *EPA*, 1993). Para el control de SO_2 , las eficiencias de remoción varían del 80 a más del 99 por ciento, dependiendo del tipo de reactivo utilizado y el diseño de la torre de placas. Las aplicaciones más recientes tienen una eficiencia de remoción de SO_2 mayor del 90 por ciento (Ref. *Sondreal*, 1993; *Soud*, et al., 1993).

5. Tipo de Fuente Aplicable: Punto (Puntual en México)

6. Aplicaciones Industriales Típicas:

La adaptabilidad de la absorción de gases como un método de control de la contaminación depende por lo general de los siguientes factores: 1) la disponibilidad del solvente adecuado; 2) la eficiencia de remoción requerida; 3) la concentración del contaminante en el vapor de entrada; 4) la capacidad requerida para el manejo de gas de desecho; y 5) el valor de recuperación del (de los) contaminante(s) o el costo de desechar el solvente irrecuperable (Ref. *EPA*, 1996).

Los depuradores con placas de impacción son utilizados típicamente en la industria agrícola, alimenticia, y en las fundiciones de acero gris (Ref. *EPA*, 1998).

La DGS es usada para el control de emisiones de SO_2 a partir de la combustión de carbón y aceite provenientes de las fuentes industriales y de plantas generadoras de electricidad. Los depuradores por impacción son una configuración de depurador en húmedo utilizado para poner a los gases de escape en contacto con un sorbente diseñado para remover el SO_2 . En alguna ocasión, los depuradores en húmedo han sido aplicados a las emisiones de SO_2 provenientes de procesos en las industrias de metales primarios no ferrosos (por ejemplo, cobre, plomo, y aluminio), pero las plantas de ácido sulfúrico o azufre elemental son los dispositivos de control más populares para controlar las altas concentraciones de SO_2 asociadas con estos procesos (Ref. *Soud*, et al., 1993).

Cuando se usa la absorción para el control de COV, las torres empacadas son generalmente más efectivas en costo que las torres de placas de impacción. Sin embargo, en ciertos casos, se prefiere el diseño con placas de impacción sobre las columnas con torre empacada cuando se desee el enfriamiento interno, o donde las proporciones bajas del flujo líquido humedecerían inadecuadamente el empaque (Ref. *EPA*, 1992).

7. Características de la Corriente de Emisión:

- a. Flujo de Aire:** Las proporciones del flujo de gas típicas para un depurador con una sola placa de impacción son de 0.47 a 35 metros cúbicos a condiciones estándares por segundo (m^3/s) (1,000 a 75,000 pies cúbicos a condiciones

estándares por minuto (*scfm*) (Ref. *EPA*, 1998).

- b. Temperatura:** La temperatura del flujo del gas de entrada está limitada de 4 a 370°C (40 a 100°F). En general, entre mayor es la temperatura del gas, menor es la proporción de absorción, y viceversa. Las temperaturas más altas pueden conducir a la pérdida de líquido depurador o solvente por evaporación (Ref. *EPA*, 1996; Avallone, 1996).
- c. Carga de Contaminantes:** Los depuradores con placas de impacción son fáciles de limpiar y mantener y no están sujetos a arruinarse como lo están los depuradores de lecho empacado, y por tanto son más apropiadas para controlar MP y no hay límites prácticos para las concentraciones de MP de entrada (Ref. *EPA*, 1998).
- d. Otras Consideraciones:** Para el control de CPA de vapor orgánico, típicamente se requerirán concentraciones bajas de salida, conduciendo a torres de absorción impracticable mente altas, largos tiempos de contacto, y altas proporciones de líquido a gas que no pudrían ser efectivas en costo. Los depuradores en húmedo por lo general serán efectivos para el control de CPA cuando son utilizados en conjunto con otros dispositivos de control tales como incineradores o adsorbentes de carbón (Ref. *EPA*, 1991).

8. Requisitos de Pre-tratamiento de la Corriente de Emisión:

Para las aplicaciones de absorción de gases, los pre-enfriadores (por ejemplo, las cámaras de aspersión) pueden ser necesarios para reducir la temperatura del aire de entrada a niveles aceptables para evitar la evaporación de solvente o las velocidades reducidas de absorción (Ref. *EPA*, 1996).

9. Información de Costos:

Los siguientes datos son los rangos de costo (expresados en dólares del cuarto trimestre de 1995) para los depuradores con placa de impacción en húmedo de diseño convencional bajo condiciones típicas de operación, adaptados a partir de los formatos para estimación de costos de la *EPA* (Ref. *EPA*, 1996) y referidos a la proporción del flujo volumétrico de la corriente de desecho tratada. Para el propósito de calcular el ejemplo de efectividad de costo, el contaminante se supone ser MP a una carga de entrada aproximadamente de 7 gramos por metro cúbico a condiciones estándares (g/m^3) o 3 granos por pie cúbico a condiciones estándares (gr/scf). Los costos no incluyen los costos de pos-tratamiento o desecho del solvente usado o residuo. Los costos reales pueden ser sustancialmente más altos que en los rangos mostrados para aplicaciones que requieren materiales costosos, solventes, o métodos de tratamiento. Como regla, las unidades más pequeñas controlando un flujo residual de baja concentración serán mucho más costosas (por unidad de flujo volumétrico) que una unidad grande limpiando un flujo con una carga alta de contaminantes.

- a. **Costo de Capital:** \$4,500 a \$25,000 por m^3/s , (\$2.10 a \$11 por *scfm*)
- b. **Costo de Operación y Mantenimiento:** \$5,200 a 148,000 por m^3/s , (\$2.50 a \$70) por *scfm*), anualmente
- c. **Costo Anualizado:** \$5,900 a \$151,000 por m^3/s , (\$2.80 a \$71 por *scfm*), anualmente
- d. **Efectividad de Costo:** \$51 a \$1,300 por tonelada métrica (\$46 a \$1,200 por tonelada corta), costo anualizado por tonelada por año de contaminante controlado.

10. Teoría de Operación:

Control de MP:

Un depurador con placas de impacción es una cámara vertical con placas montadas horizontalmente dentro de un caparazón hueco. Los depuradores con placas de impacción operan como dispositivos de recolección de MP en contra de la corriente. El líquido depurador fluye hacia abajo en la torre mientras que la corriente de gas fluye hacia arriba. El contacto entre el líquido y el gas cargado de partículas ocurre sobre las placas. Las placas están equipadas con aperturas que permiten el paso de gas a través de ellas. Algunas placas están perforadas o tienen ranuras, mientras que las placas más complejas tienen aperturas parecidas a una válvula (Ref. EPA, 1998).

El depurador más sencillo es la placa de cedazo, la cual tiene perforaciones redondas. En este tipo de depurador, el líquido depurador fluye sobre las placas y el gas fluye hacia arriba a través de los agujeros. La velocidad del gas evita que el líquido fluya hacia abajo a través de las perforaciones. El contacto entre el gas, el líquido y las partículas se logra dentro de la espuma generada por el gas pasando a través de la capa de líquido. Las placas complejas, tales como las tapas con burbujas o las placas deflectoras, introducen un método adicional para recolectar MP. Las tapas con burbujas y los deflectores colocados encima de las perforaciones de la placa fuerzan al gas a volverse antes de escapar la capa de líquido. Mientras el gas cambia de dirección para evitar los obstáculos, la mayoría de la MP no puede hacerlo y es recolectada por impacción sobre las tapas o los deflectores. Las capas con burbujas y similares también evitan que el líquido fluya hacia abajo por las perforaciones si el flujo del gas es reducido (Ref. EPA, 1998).

En todos los tipos de depuradores con placas de impacción, el líquido depurador fluye a través de cada placa hacia abajo y al interior de la torre hasta la placa debajo. Después de la placa del fondo, el líquido y la MP recolectados fluyen hacia fuera por el fondo de la torre. Los depuradores con placas de impacción son generalmente diseñados para proporcionar al operador acceso a cada bandeja, haciéndolas relativamente fáciles de limpiar y mantener. En consecuencia, los depuradores con placas de impacción son más apropiados para la recolección de MP que los depuradores de lecho empacado. Las partículas mayores de $1 \mu m$ de diámetro aerodinámico pueden ser recolectadas efectivamente por medio de depuradores con placas de impacción, pero muchas partículas $<1 \mu m$ de diámetro aerodinámico penetrarán estos dispositivos (Ref. EPA, 1998).

Control de Gases Inorgánicos:

El agua es el solvente usado más comúnmente para remover los contaminantes inorgánicos, aunque otros solventes son usados, tales como el cáustico para la absorción de gases ácidos (Ref. EPA, 1996). Cuando es usado como parte de un sistema de DGS, un depurador con placas de impacción promueve el contacto entre el gas de salida y una pasta aguada de sorbente en una columna vertical con bandejas perforadas montadas transversalmente. El gas cargado de SO₂ entra al fondo de la columna y viaja hacia arriba a través de perforaciones en las bandejas; una pasta aguada de reactivo se suministra en la parte superior y fluye sobre las placas hacia el fondo. En la mayoría de los casos el sorbente es una pasta aguada alcalina, comúnmente la piedra caliza, la cal suelta, o una mezcla de cal suelta y la ceniza alcalina, aunque existen muchos otros procesos sorbentes. La absorción de SO₂ es lograda por el contacto contracorriente entre el gas y el licor de reactivo. Los óxidos de azufre reaccionan con el sorbente, formando una mezcla en húmedo de sulfito y sulfato de calcio (Ref. EPA, 1981; Soud, et al. 1993).

11. Ventajas/Pros:

Las ventajas de los depuradores con placas de impacción incluyen (Ref. Cooper, 1994):

1. Pueden manejar polvos inflamables y explosivos con poco riesgo;
2. Proveen absorción de gases y recolección de polvo en una sola unidad;
3. Pueden manejar neblinas;
4. La eficiencia de recolección puede ser variada;
5. Proveen enfriamiento a los gases calientes;
6. Los gases corrosivos y polvos pueden ser neutralizados; y
7. Mejoran el contacto entre el gas y una pasta aguada para la remoción de SO₂.

12.. Desventajas/Contras:

Las desventajas de los depuradores con placas de impacción incluyen (Ref. Air and Waste Management Association, AWMA - la asociación para el manejo de aire y residuos en EE. UU.,1992; Cooper, 1994):

1. El líquido efluente puede crear problemas de contaminación del agua;
2. El producto de desecho se recolecta en húmedo;
3. Alta posibilidad para problemas de corrosión;

4. Se requiere protección contra el congelamiento;
5. El gas de escape puede requerir recalentamiento para evitar una pluma (vapor) visible;
6. La MP recolectada puede estar contaminada, y puede no ser reciclable; y
7. La disposición de residuo fangoso puede ser muy costosa.

13. Otras Consideraciones:

Para las aplicaciones con MP, los depuradores en húmedo generan residuos en forma de una pasta aguada. Esto crea la necesidad tanto del tratamiento de aguas residuales como de la disposición de residuos sólidos. Inicialmente, una pasta aguada es tratada para separar el residuo tóxico del agua. El agua tratada puede entonces ser reutilizada o descargada. Una vez que el agua es removida, el residuo remanente estará en forma de sólido o de una pasta aguada. Si el residuo sólido es inerte y no tóxico, por lo general puede ser desechado en un relleno sanitario. Los residuos tóxicos tendrán procedimientos más estrictos para su disposición. En algunos casos el residuo sólido puede tener valor y puede ser vendido o reciclado (Ref. *EPA*, 1998).

Para la absorción de gases, el agua u otro solvente debe ser tratado para remover el contaminante capturado de la solución. El efluente de la columna puede ser reciclado hacia el sistema y utilizado de nuevo. Por lo general esto es el caso si el solvente es costoso (por ejemplo, los aceites de hidrocarburo, las soluciones cáusticas). Inicialmente, la corriente de reciclamiento puede ir a un sistema de tratamiento de residuos para remover los contaminantes o el producto de la reacción. Entonces se podrá añadir líquido depurador de compensación previo a que la corriente vuelva a entrar en la columna (Ref. *EPA*, 1996).

Para aplicaciones en DGS, una pasta aguada se combina con el gas residual cargado de SO_2 para formar una pasta aguada residual al fondo del depurador. El fango es removido del depurador y, dependiendo del reactivo o sorbente utilizado para reaccionar con el SO_2 , el fango residual reaccionado es desechado, reciclado o regenerado, o en algunos casos, un producto rentable. Para unas pastas aguadas que producen sulfato y sulfito de calcio, la oxidación del fango residual resulta en yeso. El yeso es un producto preferido porque puede ser comercializado y también por sus características superiores de remoción de agua. La mayoría de los depuradores son operados sin el paso oxidante y el fango residual debe ser secado y desechado apropiadamente. Algunas pastas aguadas pueden ser regeneradas y utilizadas de nuevo, pero pocos de estos sistemas están en uso debido a los altos costos de energía asociados con la regeneración del reactivo (Ref. *Sondreal*, 1993; *Soud*, et al., 1993; *Merrick*, 1989).

Configurar un dispositivo de control que optimiza el control de más de un contaminante seguido no logra el más alto control posible para ninguno de los contaminantes controlados por sí solos. Por esta razón, los flujos de gas de desecho que contienen contaminantes múltiples (por ejemplo, MP y SO_2 , o MP y gases inorgánicos) son generalmente controlados con dispositivos de

control múltiples, ocasionalmente más de un tipo de depurador en húmedo (Ref. *EC/R Inc.*, 1996).

14. Referencias:

Avallone, 1996. "Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers," edited by Eugene Avallone and Theodore Baumeister, 10th Edition, McGraw-Hill, New York, NY, 1996.

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

Cooper, 1994. David Cooper and F. Alley, Air Pollution Control: A Design Approach, 2nd Edition, Waveland Press, Prospect Heights, IL, 1994.

EC/R, 1996. EC/R, Inc., "Evaluation of Fine Particulate Matter Control Technology: Final Draft," prepared for U.S. EPA, Integrated Policy and Strategies Group, Durham, NC, September, 1996.

EPA, 1981. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Control Technologies for Sulfur Oxide Emission from Stationary Sources," Second Edition, Research Triangle Park, NC, April, 1981.

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 Technologies for Volatile Organic Compound Emissions from Stationary Sources," EPA 453/R-92-018, Research Triangle Park, NC, December, 1992

EPA, 1993. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Chromium Emissions from Chromium Electroplating and Chromic Acid Anodizing Operations – Background Information for Proposed Standards," EPA-453/R-93-030a, Research Triangle Park, NC, July 1993.

EPA, 1996. 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, 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.

Merrick, 1989. David Merrick and Jan Vernon, "Review of Flue Gas Desulphurization Systems," Chemistry and Industry, February 6, 1989.

Sondreal, 1993. Everett A. Sondreal, "Clean Utilization of Low-Rank Coals for Low-Cost Power Generation," from "Clean and Efficient Use of Coal: The New Era for Low-Rank Coal," Organization for Economic Co-Operation and Development/International Energy Agency, Paris, France, 1993.

Soud, et al., 1993. Hermine N. Soud, Mitsuru Takeshita, and Irene M. Smith, "FGC Systems and Installations for Coal-Fired Plants" from "Desulfurization 3," Institution of Chemical Engineers, Warwickshire, UK, 1993.