

Conference: Industrial Development and Environmental Protection - Technology for Emission Control and Its Acceptability

By Dr. Juan A. Bonnet

Industrial Development & Environmental Protection: Technology for Emission Control & Its Acceptability

Dr. Juan A. Bonnet, Jr.

Industrial Development and Environmental Protection: Technology for Emission Control and Its Acceptability

Introduction

Pollutants Regulation

1. National air quality standards
2. Prevention of significant deterioration
3. Operational standards for new sources

General fundamentals of pollutant emission control theory

Description of pollutant emission control equipment,

A. Particulate pollutants

1. Cyclones
  2. Scrubbing towers
  3. Filters
  4. Electrostatic precipitators
- B. Gaseous and/or vaporous pollutants

1. Burners
2. Adsorption
3. Absorption

Coal-fired power plants

A. Sulfur emission control techniques

1. Use low sulfur coal
2. Clean the coal
3. Combustion in fluidized beds
4. Desulfurization of exit gases

Conclusion

References

Tables (5)

Graphs and Drawings (22)

Presentation: Industrial Development and Environmental Protection

Dr. Juan A. Bonnet, Jr., Director of the Center for Energy and Environmental Studies, University of Puerto Rico, July 1980

The purpose of this presentation is to analyze the fundamental processes used for the control of polluting emissions from industrial processes. When discussing control processes, it is necessary to understand their importance. It is widely recognized and accepted that if industrial development

is to continue and at the same time maintain the health of our citizens and clean air and water, we must make certain concessions and achieve a balance. In other words, it's an undeniable requirement to maintain a clean world, but it is also necessary to achieve industrial development.

Proporcionar trabajos y economías a un país. La manera de poder lograr ambos objetivos es llevar a cabo el desarrollo industrial tomando como una de las condiciones primarias la protección ambiental. Para poder asegurar esa protección ambiental es necesario modificar los procesos industriales o instalar equipo de control para disminuir las emisiones de los contaminantes.

Por eso la discusión en el día de hoy sobre los diferentes equipos de control de emisión de particulados y los principios básicos que rigen la operación de estos es de suma importancia. Esperamos que al terminar esta presentación ustedes se hayan familiarizado con las diferentes técnicas y estrategias que se pueden utilizar para controlar las acciones de los contaminantes de los procesos industriales. También conocerán los procesos fundamentales y equipos que se utilizan en cada caso en particular. Incluiremos en esta discusión la aceptabilidad, adaptabilidad, ventajas y limitaciones de cada uno de estos equipos.

Para poder determinar qué equipo de control de emisiones de contaminantes hay que utilizar en cada caso en particular hay que comenzar con la raíz del problema. La raíz del problema es identificar las fuentes de emisiones de contaminantes, o sea, es necesario llevar a cabo una evaluación del proceso industrial para determinar los desperdicios tanto gaseosos, líquidos como sólidos que se generan en el

Proceso. Al llevar a cabo esta evaluación, es necesario identificar cada contaminante, la razón de la emisión y las variaciones en su concentración tanto en operación normal como en operaciones anómalas o en casos de emergencias. Es importante llevar a cabo esta evaluación lo más detalladamente posible y cubrir todos los diferentes ciclos y operación del proceso. Solamente de esta manera se puede determinar y diseñar cuáles son los tipos de control más propicios para cada caso en particular. Es esencial conocer las leyes y regulaciones que aplican en cada caso.

Las emisiones de los contaminantes exceden los límites permisibles establecidos por las leyes y reglamentos, es necesario hacer ajustes en los procesos operacionales, cambiar el proceso, o instalar equipos de control. En muchos casos, es necesario tomar medidas para minimizar el problema a corto plazo en lo que se implementan soluciones más permanentes a largo plazo. Veamos ahora cuáles son las reglamentaciones establecidas con las cuales hay que cumplir.

## Reglamentaciones

En los casos de control de emisiones gaseosas, es necesario cumplir con:

1. Los estándares nacionales de calidad atmosférica.
2. Las leyes de prevención de deterioro significativo.
3. Los estándares operaciones de fuentes nuevas.

1. Los estándares nacionales de calidad atmosférica. Estos estándares son promulgados por la ley

de aire limpio según enmendada en 1970. Se han establecido estándares para bióxido de azufre, monóxido de nitrógeno y para particulado. Estos estándares se han establecido para concentraciones primarias donde involucran la salud directa de los seres humanos y de concentraciones secundarias donde se involucra el bienestar del público en general. En la Tabla 1 se presentan las concentraciones aceptables para concentraciones primarias y secundarias en los casos de (a) promedios anuales máximo; (b) concentraciones en 24 horas y (c) concentración máxima en un período de tres horas en un año dado. Los planes de los diferentes estados para implementar las normas de calidad de aire hacen necesario cumplir con estos estándares primarios.

Emiten de uno de los procesos de industrias en esa misma región siempre y cuando estos cambios sean de contaminantes similares y no se violen las emisiones totales aceptables. Bajo esta política no se puede relajar o disminuir el control de los contaminantes que son peligrosos cambiándolos por contaminantes que son menos peligrosos desde el punto de vista tóxico. Básicamente esta reglamentación ofrece flexibilidad a las industrias para determinar cuáles contaminantes en particular se desean controlar o remover en sus procesos siempre y cuando no se aumente la contaminación total de emisiones a través de esa burbuja imaginaria que se establece alrededor del complejo industrial. Los estándares operacionales de fuentes nuevas. Bajo el acta de aire limpio, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos también estableció unos estándares de emisión de fuentes nuevas. Estos estándares se conocen por sus siglas en inglés como NSPS: "The New Source Performance Standards". La Tabla 2 nos resume estos estándares. Como ejemplo, en el caso del bióxido de azufre, las emisiones de una planta de carbón deben ser menores de 1.2 libras por millón de BTU, BTU significa "British Thermal Unit". Pero en adición a esta condición se requiere que los procesos de remoción de contaminantes que se instalen en una operación remuevan por lo menos un 85% de las emisiones del bióxido de azufre si el combustible que se quema tiene un porcentaje de azufre de más de 3%. En caso que el combustible tenga un porcentaje de menos de 0.6% no se exigen estos estándares. De forma similar existen estándares para el caso de bióxido de nitrógeno y de particulado. El propósito de estos estándares es requerir que toda fuente nueva o industrias nuevas que se establezcan sean la mejor tecnología disponible de control y que se utilicen los mejores métodos para remover estos contaminantes antes de emitirlos al ambiente para obtener unos porcentajes de reducción de ciertos contaminantes específicos tales como el bióxido de azufre, el.

Óxido de nitrógeno o el particulado. ---Página Interrumpida--- 1. Generales de la teoría de control de contaminantes. (Referencias #1, 2 y 3) Los métodos de control de emisiones de partículas fundamentales se basan en procesos físicos o químicos. Entre los procesos físicos que se utilizan para remover contaminantes de un flujo de gases se encuentra el aplicar diferentes fuerzas a los componentes que se desean remover. Se puede aplicar fuerza gravitacional, centrífuga o electrostáticas. Por ejemplo, si queremos remover unos contaminantes los cuales son unas partículas pesadas, instalamos una chimenea alta diseñada de tal manera que estas partículas no puedan salir por la chimenea debido a la fuerza de gravedad. Así, las partículas caen y se recogen abajo en la chimenea. O bien, se puede utilizar una centrífuga donde pueden separar las partículas de diferente peso, ajustando el tamaño, velocidad y flujo a través de la centrífuga. La fuerza electrostática también se puede utilizar si cargamos eléctricamente partículas de un contaminante en particular al pasarlas a través de un aparato o equipo donde haya carga electrostática. Estos contaminantes así cargados son atraídos por los campos eléctricos alrededor de ciertas celdas o ---Página Interrumpida--- electrodos donde quedan depositados y son recogidos más tarde. La

filtración es otro proceso que utiliza un medio físico para la separación. En la filtración se utilizan el impacto, la intersección y/o la difusión. Si una partícula es tan grande que no puede pasar a través de una red o malla, tiene un impacto con esa red y es interceptada. O si una partícula viene en una dirección dada y choca con una pared pierde su velocidad y cae. El caso de difusión incluye partículas pequeñas de menos de un micrón de tamaño, las cuales son tan pequeñas que no son afectadas por el movimiento de las moléculas que está ocurriendo en los gases donde ellas se difunden o mueven en una dirección dada. Este proceso no es tan usado como otros. Otro medio físico que se utiliza en los equipos de.

El diámetro de corte en los ciclones es de aproximadamente 10 micrones y su alcance cubre desde 5 a 15 micrones, dependiendo del tipo, diámetro, largo, velocidad y materiales del ciclón. Los ciclones se pueden operar mojados o secos. En los ciclones mojados se añade agua a la entrada del ciclón, de esta manera el agua se dispersa como gotas sobre toda la superficie de la unidad. Esto causa que algunas partículas se mojen y al depositarse en las paredes les sea más fácil para caer y recolectarlas. Los ciclones se pueden operar en una serie de unidades en paralelo. Estas unidades pueden ser idénticas o de diferentes características. Los ciclones tienen la ventaja de que no tienen partes móviles. El principio de los ciclones se parece al principio de las cámaras de deposición. En las cámaras de deposición solamente se utiliza la fuerza de gravedad. Es decir, una cámara de deposición es como una chimenea donde los gases entran en la parte de abajo y según estos suben, las partículas de mayor peso, debido a la acción de la fuerza de gravedad, van perdiendo velocidad, caen y se recogen en la parte de abajo de la chimenea. En la Tabla 3 se describen algunas características de estas cámaras de deposición y de los ciclones. En esta tabla podemos ver los tamaños óptimos de operación, las concentraciones, las limitaciones de temperatura y velocidad, la caída en presión y el porcentaje de eficiencia que se espera en diferentes unidades. También esta tabla nos da una breve descripción de los contaminantes para los cuales se puede usar este equipo, en qué casos se pueden utilizar y algunas de sus limitaciones. Torres de Lavado (wet scrubber): En las torres de lavado el método principal para recoger los particulados es un líquido que se introduce en la unidad y se convierte en gotas. Esta conversión del líquido en un aerosol provee una superficie grande para recoger los contaminantes solubles y los particulados que estén presentes en el gas. Es importante que las partículas en estos

Los casos llevan una velocidad alta para aumentar la probabilidad de recoger las partículas. Es decir, podemos visualizar estos equipos como unas duchas de líquidos que absorben las partículas y otros contaminantes solubles (higroscópicos). Hay varias clases de las torres de lavado, incluyendo torres empacadas, torres de platos, torres de duchas, venturis y torres de flujos cruzados. El tamaño de las partículas que se pueden recoger con estos equipos varía desde 1 a 20 micrones. Por supuesto, los diseños tienen que variar. Por ejemplo, para las partículas más pequeñas de un micrón se necesitan equipos de alta velocidad como torres de lavado venturis. En estos casos, la caída en presión a través del equipo puede ser del orden de 60 a 80 pulgadas. Es importante que estos equipos se diseñen de tal manera que se evite la salida de los líquidos o humedad cuando salgan los gases limpios. También tienen que haber buenos métodos para recoger los líquidos, extraer de estos los contaminantes y disponer de los mismos. La Tabla 3 incluye una descripción de diferentes tipos de torres de lavado y da las características de estas unidades. Los filtros consisten de estructuras porosas con fibras sintéticas o naturales en las cuales, según el gas pasa, se quedan por retención las partículas contaminantes. Se utilizan

también filtros de otros materiales incluyendo de metales. La caída de presión a través de los filtros depende del flujo, los particulados, las características del filtro, y la frecuencia y efectividad de los procesos de limpieza del filtro. Como ejemplo de los filtros tenemos los filtros que utilizamos en los aires acondicionados. En la Tabla 3 también se dan detalles sobre diferentes filtros industriales y en las láminas también podemos ver diferentes tipos de filtros. Entre los diferentes tipos de filtros tenemos los filtros tipo saco los cuales aparecen en algunas de las figuras presentadas. Precipitadores electrostáticos - son unas unidades en las cuales se forman iones.

Operan de 1,500 a 2,000°F. La cantidad necesaria de combustible suplementario es mínima debido al alto tiempo de residencia. Normalmente estos quemadores secundarios se instalan en unas cámaras refractarias donde ocurre la combustión. La oxidación catalítica opera a temperaturas de alrededor de 1,200°F. La función del agente catalítico es aumentar la rapidez de oxidación a temperaturas bajas. En muchos casos el agente catalítico es platino o iridio. Hay que tener cuidado que estos agentes catalíticos no se envenenen (o sea se tornen inefectivos) debido a la acción descontaminante como son los compuestos clorinados. Estos procesos de combustión son efectivos pero por otro lado hay que utilizar energía o quemar combustibles en algunos casos para mantenerlos. En la Tabla 3 se describen algunos de estos procesos. Adsorción - Los procesos de adsorción ocurren entre un sólido y un gas donde los contaminantes se adsorben en la superficie o poros del sólido. Un ejemplo es el agente de adsorción carbón activado muy efectivo para el caso de hidrocarburos. También se puede considerar sílice o compuestos sintéticos como los zeolitos. El proceso de adsorción lo controlan dos fenómenos. El primero es la captura y el segundo envuelve la retención. La mayoría de los procesos de adsorción son exotérmicos que generan calor. Si el proceso de adsorción es estrictamente físico es fácil regenerar el material sólido aplicándole calor a temperaturas moderadas. Si por el contrario envuelve procesos químicos se requiere calor y una atmósfera inerte u otras condiciones para la regeneración. La Tabla 3 nos da algunas características de las unidades de adsorción. Absorción - El proceso de absorción es un proceso de difusión controlada entre una masa gaseosa y otra líquida, o sea, ocurre un proceso de transferencia o transportación de masa. La eficiencia de este proceso depende de la facilidad con la cual el agente contaminante se puede transferir del gas a la fase líquida. La absorción

Aumenta cuando existen razones de alta difusión, altas solubilidades, áreas de superficie grande y turbulencia. La Tabla 3 nos describe algunas unidades de absorción. En este momento debemos mencionar que todas estas unidades o equipos de control que hemos descrito son diseñadas por diferentes fabricantes de diferentes maneras. La idea de presentarles a ustedes estas unidades, es describirles el proceso y algunas de las características generales. Esperamos que adquieran unos conocimientos básicos de cada uno de estos equipos de control. Para continuar, queremos ahora concentrar nuestra explicación en una industria en particular y utilizando esta como ejemplo ver los diferentes procesos de control de emisiones de particulados y gaseosos que se utilizan en casos particulares. Vamos a hablar, específicamente de las centrales generadoras de carbón. Hemos escogido las centrales de carbón ya que son estas una de las que más se están utilizando en los Estados Unidos para producir electricidad y en el nuevo plan de energía de esa nación se le está dando alta prioridad. Además, en Puerto Rico se van a construir tres unidades para producir electricidad quemando carbón de aproximadamente 300,000 kilovatios eléctricos cada una. Centrales generadoras de carbón. Se ha estimado que anualmente se descarga contaminantes de óxido de azufre del orden de 65 millones de toneladas a la atmósfera. La gran mayoría de este azufre proviene de la combustión del carbón. El azufre en su mayoría se encuentra en la fórmula

del bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). También se convierte en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) cuando el bióxido de azufre se mezcla con la humedad de la atmósfera. Esto se conoce como la Lluvia Ácida. Los límites de emisión de azufre están descritos en las tablas 1 y 2. La mayoría de este azufre proviene de las plantas que queman carbón. En los Estados Unidos, el 70% del bióxido de azufre que se emite a la atmósfera proviene de plantas generadoras de carbón. Se espera que se...

Se construirán aproximadamente 300 nuevas plantas generadoras de carbón en los próximos 10 años. Una unidad generadora de 450,000kW consume aproximadamente de 3 a 5 toneladas de carbón por minuto. El valor calórico del carbón es de 8,000 a 13,000 BTU/lb y las unidades generadoras tienen una proporción de calor (heat rate) de 10,000 BTU/kwhr. Durante 1965 se quemaron 405 millones de toneladas de carbón. En 1995 se pronostica que se quemarán de 800 a 1,300 millones de toneladas de carbón. Se espera que esto cause que las emisiones de bióxido de azufre aumenten de 18.6 millones de toneladas en el año 1975 a 20.6 millones por tonelada en el 1995. Estas emisiones resultarán aun instalando equipos de control para remover una gran cantidad del azufre que será emitido en la combustión del carbón. Para controlar las emisiones de bióxido de azufre es necesario (1) utilizar combustible conteniendo bajo contenido de azufre, (2) remover el azufre del carbón antes del proceso de combustión, (3) remover el azufre durante la combustión, (4) remover el azufre después de la combustión, o en los gases de salida de las calderas, o (5) una combinación de cualquiera de estas técnicas.

---Página Siguiente---

A21- Vamos a proceder ahora a discutir en detalle las técnicas de control viables al presente: A. Técnicas de control de emisiones de azufre 1. Utilizar carbón de bajo contenido de azufre De acuerdo a la reglamentación existente, podemos notar de la Tabla 2 que si se quema un combustible con menos de 0.6% de azufre es posible operar las calderas de carbón sin tener que instalar equipo de control. La Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico ha anunciado públicamente que sus planes son utilizar este combustible de bajo contenido de azufre. De poder conseguir este combustible continuamente no es necesario de acuerdo a la reglamentación ambiental instalar equipo de control de emisiones. 2. Limpiar el carbón Existen métodos físicos y químicos para limpiar el carbón antes de la combustión. Los métodos físicos se fundamentan en utilizar las.

Diferencias en el peso espectral o en ciertas propiedades de la superficie. Es posible remover de un 20% a un 80% del azufre libre en el carbón. Los métodos químicos

-22- incluyen procesos más complicados como son el proceso de la TRA-Meyers y otros. El azufre libre es azufre inorgánico, el azufre en forma orgánica en el carbón no puede ser removido del carbón por medio físico. Los métodos de limpiar el carbón antes de la combustión están limitados en la cantidad de azufre total que se puede. Combustión en lechos fluidizados (flue bed combustion) Quemar el carbón en lechos fluidizados, piedra caliza (limestone), o dolomita para formar sulfato de calcio seco a temperatura de 1,450 a 1,650°F es un método eficiente de remover el azufre. Esta combustión se lleva a cabo en una vasija cerrada que tiene unos platos porosos donde se mantiene el carbón pulverizado y el absorbente (piedra caliza o dolomita). Se fuerza aire a través del plato lo que fluidiza el lecho de carbón y el absorbente. Según el carbón se quema, el bióxido de azufre es absorbido por la reacción con la piedra caliza, se supe carbón y absorbente continuamente al

236 lecho y se va renovando continuamente el absorbente y las cenizas. Hay dos tipos de estos procesos. Uno es la combustión atmosférica en lecho fluidizado y la otra es combustión a presión en lecho fluidizado. El primero opera a presiones cerca de la presión atmosférica y el segundo opera a presiones de 6 a 16 veces mayor que la presión atmosférica. Al presente hay una unidad de 30 mil kilovatios eléctricos operando en Riversville, West Virginia que usa el proceso de lecho de combustión fluidizado a presión atmosférica. La compañía Tennessee Valley Authority ha diseñado una de estas unidades de demostración de un tamaño de 200,000 kilovatios. El proceso a presión atmosférica está más avanzado que el proceso a presiones altas. Con este proceso se consiguen eficiencias de remoción del bióxido de azufre del orden de 80% a 90%.

Regenerativos, los dos más importantes son: (1) las torres de lavado utilizando piedra caliza (limestone) o cal (lime). Ambos de estos sistemas están disponibles comercialmente. Las reacciones en cada caso son las siguientes:

Página 28. Conclusión: En conclusión, debemos reconocer que para continuar el desarrollo industrial de un país en armonía con la protección ambiental es necesario diseñar los procesos industriales de tal manera que se minimizan las descargas al ambiente de agentes contaminantes. Para tales fines es importante incluir en todo desarrollo industrial la tecnología y equipo necesario para el control de sus emisiones contaminantes. Estos equipos tienen que ser de tal manera que su funcionamiento sea confiable y aceptable para así poder cumplir en todo momento con las reglamentaciones ambientales existentes. Hemos descrito en este trabajo los procesos que gobiernan la operación de los equipos de control de emisiones de contaminantes incluyendo su aplicabilidad, aceptación y limitaciones en cada caso. Esperamos que teniendo unos conocimientos generales de estos equipos y su función sea más fácil entender la relación estrecha que tiene que existir entre la industria y el ambiente. Muchas gracias.

Página 27. Atmósfera de calcio y se recobra  $80\%$ , +  $N_2O$ . (b) Wetman Lora  $Na_2SO_3 + SO_2 + H_2O + 2NaHSO_3$ . Se añade calor para regenerar:  $4 NaHSO_3, 4 Na_2SO_3 + H_2O$ . (c) Ceniza de soda (Soda ash)  $Na_2CO_3 + SO_2 + Na_2SO_3 + CO_2 \rightarrow 2NaHCO_3 + SO_2 + H_2O + Na_2SO_3 + 2H_2O + 2O_2$ . Se regenera oxidando:  $2Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2Na_2SO_4$ . La Tabla 4 nos detalla el estado actual de cada uno de estos procesos desde el punto de vista de su desarrollo investigativo a escala de demostración comercial. La tabla 5 nos describe las ventajas y desventajas, viabilidad económica y productos de deshecho que se producen en cada uno de estos procesos. Para controlar las emisiones de partículas de las centrales generadoras de carbón se utilizan los equipos mencionados anteriormente como son los precipitadores.

Electrostatic, filters, washing towers and cyclones.

## REFERENCES For SUPPLEMENTARY READINGS

Industrial Air Pollution Handbook - Editor: Albert Parker 1978 - McGraw Hill Book Company. (Chapter 7 to 10).

Air Pollution Control Equipment for Particulate Matter by Howard Dey et. al. - 1975 - California Environmental Protection Commission.

Control Equipment for Gases and Vapors by Howard F. Dey et. al. - 1975 - California Environmental Protection Commission.

Energy / Environment III - EPA Decision Series. October 1978 (Chapter 5).

Energy / Environment IV - EPA Decision Series. Oct. 1979 (Chapter 5).

Sulfur Emission: EPA Decision Series: Control Technology & Waste Management May 1978,

Control of Industrial Air Pollution by Robert M. Bethea 1977 Pollution Engineering Year Book.

TABLE 1 National air quality standards, SO<sub>2</sub>, Primary Secondary Annual average 80 ug/m<sup>3</sup> - (0.03 ppm) Maximum concentration 365 ug/m<sup>3</sup> in 24 hours\* (0.24 ppm) Maximum concentration in 3 hours\* 1,300 ug/m<sup>3</sup> (0.5 ppm) \* Can not be exceeded more than once a year. Reference number 04

TABLE 1 Air quality standards, SO<sub>2</sub>, Primary Secondary Annual average 80 ug/m<sup>3</sup> - (0.03 ppm) Maximum concentration 365 ug/m<sup>3</sup> in 24 hours\* (0.16 ppm) - Maximum concentration 3 in 3 hours\* 1,300 ug/m<sup>3</sup> (0.5 ppm) \* Can not be exceeded more than once a year. Reference number 04

Continuation Table 1 Air quality standards for particulates SS Primary Secondary Annual Average 75 ug/m<sup>3</sup> 60 ug/m<sup>3</sup> Maximum concentration 260 ug/m<sup>3</sup> 150 ug/m<sup>3</sup> in 24 hours Operational standards for new particulate sources For new sources - Current, 0.2 16/108 aru New 0.03 lb/108 aru

TABLE 2 Standards for sulfur dioxide emissions from coal boilers Reduction percentage of sulfur emission limits 1b 50/106 Bro Existing boilers — 0.2.8.0 NSPS current for steam boilers 1.2 NSPS