



Instituto Nacional de Ecología

TECNOTECA

TECNOLOGÍAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES

PROCEDENTES DE FUENTES ESTACIONARIAS

Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana,

Regional y Global

2002

TECNOTECA

Este documento brinda información general sobre los distintos equipos de control de emisiones de contaminantes atmosféricos que se utilizan en las fuentes fijas, para tal fin se clasificó por contaminantes (partículas, partículas, gases y vapores, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre) y para cada equipo se describen brevemente las siguientes características:

- PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN
- REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS
- APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS
- VENTAJAS
- DESVENTAJAS

INDICE DE TECNOLOGÍAS DE CONTROL:

Tecnologías de control para partículas

- Filtros de tela
 - Limpieza con sacudimiento mecánico [Más info.](#)
 - Limpieza con inyección de aire inverso [Más info.](#)
 - Limpieza con chorro de aire pulsante [Más info.](#)
- Filtros de alta eficiencia [Más info.](#)
- Separadores con ayuda mecánica [Más info.](#)
- Cámaras de sedimentación [Más info.](#)
- Separadores por momento [Más info.](#)
- Ciclones [Más info.](#)
- Precipitadores electrostáticos
 - Precipitadores electrostáticos en húmedo- Tipo placa-alambre [Más info.](#)
 - Precipitadores electrostáticos en húmedo- Tipo tubo-alambre [Más info.](#)
 - Precipitadores electrostáticos en seco- Tipo placa-alambre [Más info.](#)
 - Precipitadores electrostáticos en seco- Tipo tubo-alambre [Más info.](#)
- Separadores por condensación [Más info.](#)

Tecnologías de control para partículas, gases y vapores

- Torres de aspersion [Más info.](#)
- Torres de platos [Más info.](#)
- Torres empacadas [Más info.](#)
- Lavadores Venturi [Más info.](#)
- Lavadores con orificio [Más info.](#)
- Lavadores con lecho de fibra [Más info.](#)

Tecnologías de control para Compuestos orgánicos volátiles

- Antorcha [Más info.](#)
- Incineradores térmicos [Más info.](#)
- Incineradores térmicos tipo recuperativo [Más info.](#)
- Incineradores catalíticos [Más info.](#)
- Adsorción [Más info.](#)
- Adsorción con carbón activado [Más info.](#)

Tecnologías de control para Óxidos de Nitrógeno

- Modificación de los procesos de combustión [Más info.](#)
- Tratamiento químico de los gases de combustión [Más info.](#)

Tecnologías de control para Óxidos de Azufre

- Medidas Preventivas [Más info.](#)
- Extracción de SO₂ de los gases ricos de desecho [Más info](#)
- Extracción de SO₂ de los gases pobres de desecho
 - Procesos en húmedo [Más info.](#)
 - Proceso en seco [Más info.](#)

Glosario

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Filtros de Tela - Limpieza con Sacudimiento Mecánico

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se aplican al control de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a 2.5 μm y al control de contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, como la mayoría de los metales. El mercurio es una excepción, ya que gran parte de sus emisiones tienen lugar en forma de vapor elemental.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

En un filtro de tela, el gas pasa a través de una tela de tejido apretado o de fieltro y quedan retenidas en la tela, por tamizado u otros mecanismos, las partículas contenidas en el gas. Los filtros de tela pueden presentar forma de hojas, cartuchos o bolsas, con un número de unidades individuales de filtros de tela encasillados en grupo. Las bolsas son el tipo más común de filtro de tela. A los filtros de tela se les conoce frecuentemente como casas de bolsas porque la tela está configurada, por lo general, en bolsas cilíndricas. Las condiciones de operación influyen en la selección de la tela. Algunas telas, como las poliolefinas de nylon, acrílicos y poliésteres, son útiles solamente a temperaturas relativamente bajas, de 95 a 150 °C. Para flujos de gases a altas temperaturas, deben utilizarse telas más estables térmicamente, como fibra de vidrio, teflón ó nómex.

En las unidades con sacudimiento mecánico, la parte superior de las bolsas se encuentra unida a una barra que se mueve abruptamente, normalmente en la dirección horizontal, con objeto de limpiar las bolsas. Estas barras operan con motores mecánicos o a mano, cuando no es necesaria una limpieza frecuente.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficiencias típicas de recuperación para equipos nuevos son del 99 al 99.9%. Los equipos más antiguos presentan un rango de eficiencias de operación del 95 al 99.9%. Entre los factores que determinan el valor de la eficiencia de recolección de los filtros de tela se encuentran la velocidad de filtración del gas, las características de las partículas, las propiedades de la tela y el mecanismo

de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta al incrementar la velocidad de filtración y el tamaño de las partículas. También influye el propio proceso de limpieza. Cada ciclo de limpieza remueve, al menos, parte del polvo retenido, lo que provoca que, al reiniciarse la filtración, la capacidad de filtrado haya disminuido. Muchas de las partículas contenidas en el gas se ven forzadas a atravesar el filtro. A medida que se van capturando nuevas partículas, la eficiencia vuelve a aumentar hasta el siguiente ciclo de limpieza.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los filtros de tela funcionan con gran efectividad en diferentes aplicaciones. Se pueden utilizar en calderas de centrales termoeléctricas (carbón), en procesamiento de metales no ferrosos, primario y secundario (industria del cobre, plomo, zinc, aluminio, producción de otros metales), procesamiento de metales ferrosos (coque, producción de aleaciones de hierro, producción de hierro y acero, fundiciones de hierro gris, fundiciones de acero), productos minerales (manufactura de cemento, limpieza de carbón, explotación y procesamiento de piedra, manufactura de asfalto). En general, los filtros de tela pueden ser utilizados en casi cualquier proceso en el que se genere polvo y pueda ser recolectado y conducido por conductos a una localidad central.

VENTAJAS

Las ventajas de los filtros de tela con limpieza por sacudimiento mecánico son:

1. En general, los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para partículas gruesas como para las de tamaño fino.
2. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones de las condiciones de la corriente de gas.
3. El aire de salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado dentro de la planta, para conservación de energía.
4. Las partículas se recolectan en seco.
5. Normalmente, no presenta problemas de corrosión ni oxidación.
6. Su utilización es relativamente simple.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. Para temperaturas muy por encima de los 290 ° C se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario especial, lo que puede resultar muy caro.

2. Para ciertos tipos de polvos puede ser necesaria la utilización de telas tratadas, con objeto de reducir la percolación de los polvos o, en otros casos, para facilitar la remoción del polvo recolectado.
3. Determinadas concentraciones de ciertas partículas en el colector, aproximadamente 50 g/m^3 pueden representar un riesgo de fuego o explosión, si se produce accidentalmente una llama o una chispa.
4. Las telas pueden arder si se recolecta polvo fácilmente oxidable.
5. Los filtros de tela tienen muchos requisitos de mantenimiento, como por ejemplo, el reemplazo periódico de las bolsas.
6. La vida de la tela puede verse reducida a temperaturas elevadas y en presencia de constituyentes gaseosos o particulados ácidos o alcalinos.
7. No son adecuados para ambientes húmedos, ya que los materiales higroscópicos, la condensación de humedad o los materiales adhesivos espesos pueden causar costras o tapar la tela.
8. Puede ser necesaria la protección respiratoria del personal de mantenimiento durante el reemplazo de la tela.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Filtros de Tela - Limpieza con Circulación de Aire Inverso

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se aplican al control de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a 2.5 μm y al control de contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, como la mayoría de los metales. El mercurio es una excepción, ya que gran parte de sus emisiones tienen lugar en forma de vapor elemental.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

En un filtro de tela, el gas pasa a través de una tela de tejido o de fieltro, y quedan recolectadas en la tela, por tamizado u otros mecanismos, las partículas contenidas en el gas. Los filtros de tela pueden presentar forma de hojas, cartuchos o bolsas, con un número de unidades individuales de filtros de tela encasillados en grupo. Las bolsas son el tipo más común de filtro de tela. A los filtros de tela se les conoce frecuentemente como casas de bolsas porque la tela está configurada, por lo general, en bolsas cilíndricas. Las condiciones del proceso son factores importantes para la selección de la tela. Algunas telas, como las poliolefinas de nylon, acrílicos y poliésteres, son útiles solamente a temperaturas relativamente bajas, de 95 a 150°C. Para flujos de gases a altas temperaturas, deben utilizarse telas más estables térmicamente, como fibra de vidrio, teflón ó nómex.

La limpieza con aire inverso es un método común de limpieza de filtros de tela que ha sido muy utilizado. La mayoría de los filtros de tela con aire inverso operan de una manera similar a los filtros de tela con limpieza por sacudimiento. Normalmente las bolsas están abiertas por el fondo y cerradas en la parte superior. El gas fluye desde la parte interior a la parte exterior de las bolsas, quedando el polvo capturado en el interior. La limpieza se lleva a cabo haciendo pasar aire limpio a través de los filtros en dirección opuesta al flujo de gas. El cambio de dirección del flujo del gas provoca que la bolsa se doble y se desprege el polvo acumulado. Existen varios métodos para invertir el flujo a través de los filtros. Uno de ellos consiste en la utilización de un ventilador secundario. La limpieza con aire invertido se utiliza únicamente en casos en los que el polvo se desprende con facilidad de la tela.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficiencias típicas para equipos nuevos varían del 99 al 99.9%. Para equipos más antiguos estas eficiencias pueden variar del 95 al 99.9%. Entre los factores que determinan el grado de eficiencia de recolección de los filtros de tela se encuentran la velocidad de filtración del gas, las características de las partículas, las características de la tela y el mecanismo de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta al incrementar la velocidad de filtración y el tamaño de las partículas. También influye el propio proceso de limpieza. Cada ciclo de limpieza remueve, al menos, parte del polvo retenido, lo que provoca que, al reiniciarse la filtración, la capacidad de filtrado haya disminuido. Muchas de las partículas contenidas en el gas se ven forzadas a atravesar el filtro. A medida que se van capturando nuevas partículas, la eficiencia vuelve a aumentar hasta el siguiente ciclo de limpieza.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los filtros de tela pueden funcionar con gran efectividad en diferentes aplicaciones. Se utilizan en calderas de termoeléctricas (carbón), calderas industriales (carbón, madera), calderas comerciales (carbón, madera), procesamiento de metales no ferrosos, primario y secundario (cobre, plomo, zinc, aluminio, producción de otros metales), procesamiento de metales ferrosos (coque, producción de aleaciones de hierro, producción de hierro y acero, fundiciones de hierro gris, fundiciones de acero), productos minerales (manufactura de cemento, limpieza de carbón, explotación y procesamiento de piedra, manufactura de asfalto. En general, los filtros de tela pueden ser utilizados en la mayoría de los procesos en que se genere polvo y pueda ser recolectado y conducido por conductos a una localidad central.

VENTAJAS

Las ventajas de los filtros de tela con limpieza por circulación de aire inverso son:

7. Proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para partículas gruesas como para las de tamaño fino.
8. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones de las condiciones de la corriente de gas.
9. El aire de salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado dentro de la planta, para conservación de energía.
10. El material retenido se recolecta en seco.
11. Normalmente no presentan problemas de corrosión ni oxidación.
12. Su utilización es relativamente simple.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

9. Para temperaturas muy por encima de los 290 ° C se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario especial, lo que puede resultar muy caro.
10. Para ciertos tipos de polvos, se pueden requerir telas tratadas con objeto de reducir la percolación de los polvos o, en otros casos, para facilitar la remoción del polvo recolectado.
11. Determinadas concentraciones de algunas partículas en el colector, aproximadamente 50 g/m³ pueden representar un peligro de fuego o explosión, si se produce accidentalmente una llama o una chispa.
12. Los filtros de tela presentan elevados requisitos de mantenimiento, como por ejemplo, el reemplazo periódico de las bolsas.
13. La vida de la tela puede verse reducida a temperaturas elevadas y en presencia de constituyentes gaseosos o en forma de partículas, ácidos o alcalinos.
14. No pueden operar en ambientes húmedos, ya que los materiales higroscópicos, la condensación de humedad o los materiales adhesivos espesos pueden causar costras o tapar la tela.
15. Puede resultar necesaria la protección respiratoria del personal de mantenimiento durante el reemplazo de la tela.

Indice

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Filtros de Tela - Limpieza con Chorro de Aire Pulsante

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se aplican al control de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a 2.5 µm y al control de contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, como la mayoría de los metales a excepción del mercurio, ya que una parte significativa de las emisiones de mercurio tienen lugar en forma de vapor elemental.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

En un filtro de tela, el gas pasa a través de una tela de tejido o de fieltro, y quedan recolectadas en la tela, por tamizado u otros mecanismos, las partículas contenidas en el gas. Los filtros de tela pueden presentar forma de hojas, cartuchos o bolsas, con un número de unidades individuales encasilladas en grupo. Las bolsas son el tipo más común de filtro de tela. A los filtros de tela se les conoce frecuentemente como casas de bolsas porque la tela está configurada, por lo general, en bolsas cilíndricas. Las condiciones del proceso son factores importantes para la selección de la tela. Algunas telas, como las poliolefinas de nylon, acrílicos y poliésteres, son útiles solamente a temperaturas relativamente bajas, de 95 a 150°C. Para flujos de gases a altas temperaturas, deben utilizarse telas más estables térmicamente, como fibra de vidrio, teflón o nómex.

En los filtros de tela limpiados por chorro pulsante las bolsas están cerradas por el fondo, abiertas en la parte superior y reforzadas internamente por "jaulas". El gas cargado de partículas fluye desde fuera hacia el interior de las bolsas y de ahí hacia la salida del gas. Las partículas se recolectan en el exterior de las bolsas y caen hacia una tolva debajo del filtro de tela. Durante la limpieza por chorro pulsante se inyecta dentro de las bolsas un pulso corto de aire, de 0.03 a 0.1 segundos de duración, a alta presión. Para producir ese pulso se sopla a través de una boquilla venturi por la parte superior de las bolsas, lo que ocasiona la aparición de una onda de choque que continúa su trayecto hacia el fondo de la bolsa. La onda dobla la tela, separándola de la jaula y removiendo el polvo acumulado.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficiencias típicas para equipos nuevos varían del 99 al 99.9%. Para equipos más antiguos estas eficiencias pueden variar del 95 al 99.9%. Entre los factores que determinan el grado de eficiencia de recolección de los filtros de tela se encuentran la velocidad de filtración del gas, las

características de las partículas, las características de la tela y el mecanismo de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta al incrementar la velocidad de filtración y el tamaño de las partículas. También influye el propio proceso de limpieza. Cada ciclo de limpieza remueve, al menos, parte del polvo retenido, lo que provoca que, al reiniciarse la filtración, la capacidad de filtrado haya disminuido. Muchas de las partículas contenidas en el gas se ven forzadas a atravesar el filtro. A medida que se van capturando nuevas partículas, la eficiencia vuelve a aumentar hasta el siguiente ciclo de limpieza.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los filtros de tela pueden funcionar con gran efectividad en diferentes aplicaciones. Se utilizan en calderas termoeléctricas (carbón), calderas industriales (carbón, madera), calderas comerciales (carbón, madera), procesamiento de metales ferrosos (producción de hierro y acero, fundiciones de acero), productos minerales (manufactura de cemento, limpieza de carbón, explotación y procesamiento de piedra), manufactura de asfalto, molienda de grano. En general, los filtros de tela pueden ser utilizados en la mayoría de los procesos en que se genere polvo y pueda ser recolectado y conducido por conductos a una localidad central.

VENTAJAS

Las ventajas de los filtros de tela con limpieza por chorro de aire pulsante son:

13. Proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para partículas gruesas como para las de tamaño fino.
14. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas.
15. El aire de salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado dentro de la planta, para conservación de energía.
16. El material retenido se recolecta en seco.
17. Normalmente, no presenta problemas de corrosión ni oxidación.
18. El proceso es relativamente simple.
19. Los filtros de tela limpiados por chorro pulsante pueden tratar flujos altos de gas, con cargas grandes de partículas.
20. Los filtros de tela limpiados por el método de chorro pulsante, pueden ser de menor tamaño que otros tipos de filtros de tela, para el tratamiento de la misma cantidad de gas y polvo.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

16. Para temperaturas muy por encima de los 290 ° C se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario especial, lo que puede resultar muy caro.
17. Para ciertos tipos de polvos, se pueden requerir telas tratadas con objeto de reducir la percolación de los polvos o en otros casos, para facilitar la remoción del polvo recolectado.
18. Determinadas concentraciones de algunas partículas en el colector, aproximadamente 50 g/m³ pueden representar un peligro de fuego o explosión, si se produce una llama o una chispa accidentalmente.
19. Los filtros de tela presentan elevados requisitos de mantenimientos, como por ejemplo, el reemplazo periódico de las bolsas.
20. La vida de la tela puede verse reducida a temperaturas elevadas y en presencia de constituyentes gaseosos o en forma de partículas, ácidos o alcalinos.
21. No son adecuados para ambientes húmedos, ya que los materiales higroscópicos, la condensación de humedad o los materiales adhesivos espesos pueden causar costras o tapar la tela.
22. Puede resultar necesaria la protección respiratoria del personal de mantenimiento durante el reemplazo de la tela.
23. En Las unidades con chorro pulsante que utilizan velocidades muy altas del gas el polvo de las bolsas limpiadas puede ser arrastrado hacia otras bolsas. Esta situación provoca que sólo parte del polvo caiga sobre la tolva y aumente su acumulación sobre otras bolsas.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Filtros HEPA (High Efficiency Particle Air) Filtros de Aire de Alta Eficiencia para Partículas.

Filtros ULPA (Ultra Low Penetration Air) Filtros de Aire de Ultra Baja Penetración.

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se aplica al control de partículas de tamaño sub-micrométrico, pudiéndose recuperar partículas con diámetro aerodinámico superior a 0.12 micras, partículas tóxicas desde el punto de vista químico, biológico o radioactivo y contaminantes peligrosos del aire en forma de partículas, como la mayoría de los metales, a excepción del mercurio.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los filtros *HEPA* y *ULPA* contienen generalmente papel como medio filtrante. Los nuevos diseños utilizan medios no tejidos, con tecnologías recientes basadas en fibras finas, como fibras de vidrio. Tanto el papel como los materiales no tejidos constituyen un empaque de alta densidad. Esta característica, en adición al pequeño diámetro de la fibra, permite una alta eficiencia de recolección de partículas sub-micrométricas. La corriente de gas se hace pasar a través del medio fibroso de filtración, quedándose las partículas contenidas en la corriente recolectadas por tamizado y otros mecanismos. La acumulación de polvo que se va formando en el medio filtrante puede incrementar la eficiencia de recolección.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

En general, los filtros HEPA y ULPA se definen como aquellos que tienen la siguiente designación de eficiencia mínima:

HEPA: 99.97% de eficiencia para la remoción de partículas de diámetro superior a 0.3 μm

ULPA: 99.9995% de eficiencia para recuperación de partículas con diámetros superiores a 0.12 μm .

Algunos filtros son capaces de eficiencias más altas. Se dispone en el mercado de filtros que pueden controlar partícula de 0.01 μm de diámetros, con eficiencias de 99.99+% y partículas de 0.1 μm de diámetro con eficiencias de 99.9999+%.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los filtros HEPA y ULPA se aplican en situaciones en las que se requieren altas eficiencias de recolección de partículas sub-micrométricas, cuando no se puede separar del filtro la materia tóxica y/o peligrosa o cuando resulta difícil limpiar el filtro. Se instalan como componente final en sistemas de recolección de partículas, corriente abajo de otros dispositivos, como precipitadores electrostáticos o filtros de tela.

Las aplicaciones industriales comunes de los filtros HEPA y ULPA incluyen los incineradores de residuos de hospitales, de residuos nucleares de bajo nivel o de mezclas de residuos, y sistemas de ventilación y de seguridad nuclear. Adicionalmente, los filtros son utilizados en un número de aplicaciones comerciales y procesos de manufactura, como laboratorios, industria de alimentos y manufactura de productos farmacéuticos y micro-electrónicos.

VENTAJAS

Las ventajas principales de los filtros HEPA y ULPA son:

1. Altas eficiencias de recolección para partículas de tamaño sub-micrométrico.
2. Pueden ser utilizados para flujos bajos y concentraciones bajas de contaminante.
3. El aire sale del filtro muy limpio y, en muchos casos, puede ser recirculado dentro de la planta.
4. No son sensibles a pequeñas variaciones de las condiciones de la corriente de gas.
5. Normalmente no presentan problemas de corrosión ni de oxidación.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. El medio filtrante está sujeto a daño físico por los esfuerzos mecánicos.
2. Para operar a temperaturas superiores a 95°C o con corrientes de contaminantes corrosivos, se requiere el uso de materiales especiales en el filtro, lo que resulta más caro.
3. La acumulación de algunos polvos en la coraza del filtro puede representar un peligro de explosión, si se produce accidentalmente una chispa.
4. El medio filtrante puede arder si se recolecta polvo fácilmente oxidable.
5. Requieren mucho mantenimiento y cambios de filtros frecuentes.
6. La vida de los filtros disminuye a altas temperaturas y en presencia de partículas ácidas o alcalinas en el gas.

7. Los flujos altos o grandes cargas de polvo, pueden también reducir la vida de operación del filtro.
8. No son adecuados para ambientes húmedos. Los materiales higroscópicos, la condensación de humedad y los componentes adhesivos espesos, pueden causar taponamiento del medio filtrante.
9. Pueden generar un volumen alto de residuos con baja concentración del contaminante.
10. En aplicaciones al control de compuestos peligrosos del aire y cuando las partículas son de naturaleza química, biológica o radioactiva, los filtros deben tratarse como residuos peligrosos.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Cámaras de sedimentación

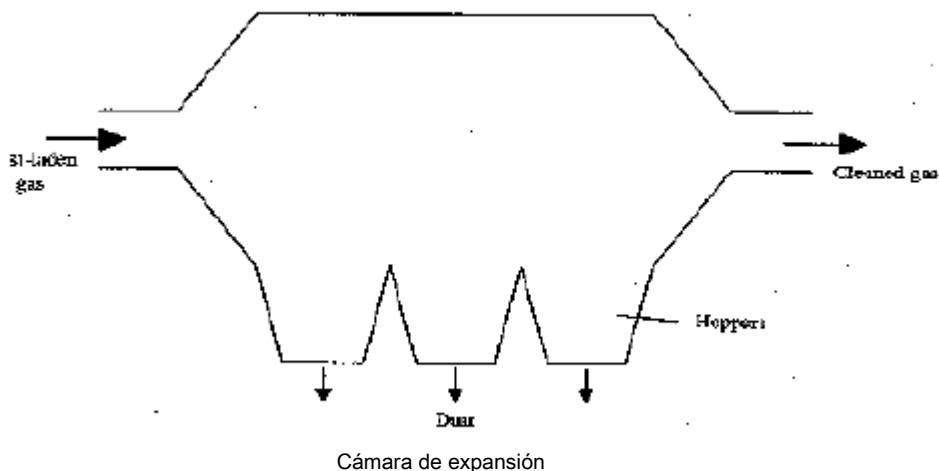
CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Aunque las cámaras de sedimentación se utilizan para el control de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a $10 \mu m$, la mayoría de los diseños solamente atrapan de manera efectiva partículas con diámetros superiores a $50 \mu m$, aproximadamente.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

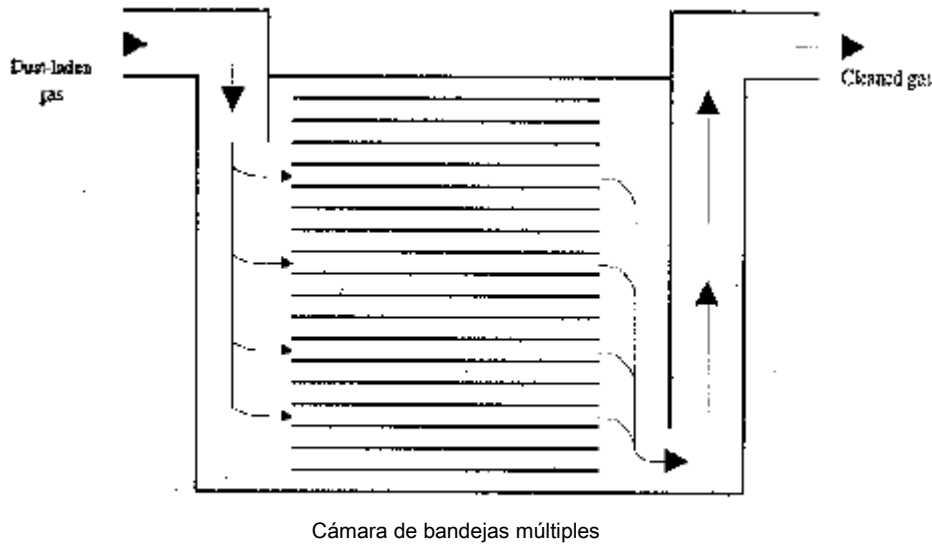
Estos equipos consisten en cámaras de grandes dimensiones en las que la velocidad de la corriente gaseosa se reduce, de modo que las partículas que están en suspensión, principalmente las de mayor tamaño, permanecen el tiempo suficiente para caer por acción de la gravedad y depositarse en una tolva.

Existen dos tipos de cámaras de sedimentación: la cámara de expansión y la cámara de bandejas múltiples. En la cámara de expansión, la velocidad de la corriente de gas se reduce significativamente a medida que el gas se expande, permitiendo que las partículas más grandes sedimenten.



La cámara de bandejas múltiples es una cámara con un número de bandejas delgadas que condicionan al gas a fluir horizontalmente entre ellas. Aunque la velocidad del gas es ligeramente

mayor en una cámara de bandejas múltiples que en una cámara de expansión, la eficiencia de recolección de la cámara de bandejas es mayor, debido a que la distancia que las partículas deben recorrer en su caída es menor.



REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

La eficacia de control de las cámaras de sedimentación varía en función del tamaño de partícula y del diseño de la cámara. Se pueden aplicar al control de partículas con diámetros superiores a $50 \mu m$, y, si la densidad del material es razonablemente alta, a partículas de diámetro superior a $10 \mu m$. La eficiencia de recolección para partículas de diámetros menores o iguales a $10 \mu m$ (PM10), es normalmente menor al 10%.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

A pesar de las bajas eficiencias de recolección, las cámaras de sedimentación han sido muy utilizadas. En la industria de refinación de metales se han aplicado al control de partículas grandes, como trióxido de arsénico procedente de la fundición de minerales de cobre arsenioso. Las plantas generadoras de calor y de electricidad han utilizado cámaras de sedimentación para recolectar partículas grandes de carbón no quemado, y re-inyectarlas a los generadores de vapor. También se han empleado en la disminución de carga de polvo y de abrasión en dispositivos posteriores, eliminando las partículas más grandes de la corriente de gas. Son particularmente útiles en industrias en las que es necesario enfriar la corriente de gas antes de continuar con otros tratamientos. El uso de estas cámaras ha disminuido debido a mayores restricciones de espacio en

las plantas y por la posibilidad de utilizar otros dispositivos de control más eficientes y con mayores capacidades de carga.

VENTAJAS

Las ventajas de las cámaras de sedimentación son, principalmente:

1. Bajos costos de capital
2. Costos de energía muy bajos
3. No hay partes móviles, por lo que presentan pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.
4. Excelente Funcionamiento
5. Baja caída de presión a través del equipo
6. El equipo no está sujeto a la abrasión, debido a la baja velocidad del gas.
7. Proporciona enfriamiento incidental de la corriente de gas.
8. Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.
9. La recolección y disposición tiene lugar en seco.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. Eficiencias de recolección de partículas relativamente bajas, particularmente para aquellas de tamaño menor a $50 \mu m$.
2. No puede manejar materiales pegajosos o aglutinantes
3. Gran tamaño físico
4. Las bandejas de las cámaras de bandejas múltiples se pueden deformar durante operaciones a altas temperaturas.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

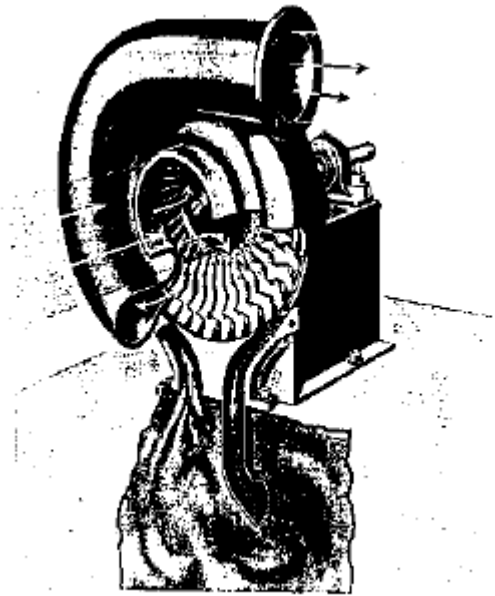
Separadores con ayuda mecánica

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Los separadores con ayuda mecánica se utilizan para el control de partículas, principalmente aquellas de diámetro aerodinámico superior a $10 \mu m$.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los separadores con ayuda mecánica basan su mecanismo de separación en la inercia. La corriente de gas es acelerada mecánicamente, para aumentar la efectividad de la separación de las partículas por inercia. Un diseño común es un ventilador de aspas radiales, que imparte mecánicamente una fuerza centrífuga a las partículas de la corriente del gas, causando su separación. Las partículas se recogen en una tolva para polvos y a continuación se retiran.



Separador con ayuda Mecánica

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

La eficacia de control de un separador con ayuda mecánica es similar a la de un ciclón con alta caída de presión. Para el control de partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a $10 \mu m$ (PM_{10}) se pueden lograr eficacias de control cercanas al 30%.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los separadores con ayuda mecánica han sido utilizados en industrias de alimentos, farmacéutica, y labrado de maderas. Debido a su tamaño compacto, se recurre a ellos con frecuencia en aplicaciones en las que el espacio es limitado o donde se deseen muchas unidades individuales. Los separadores con ayuda mecánica han sido suplantados por los ciclones en gran número de aplicaciones.

VENTAJAS

Las ventajas de los separadores con ayuda mecánica son:

1. Diseño compacto y requerimientos de espacios pequeños
2. Mayores eficiencias de recolección de pequeñas partículas que las de otros diseños de pre-limpiadores
3. Recolección y disposición en seco

DESVENTAJAS

Las desventajas de los separadores con ayuda mecánica son:

1. Presenta mayores requerimientos de energía y costos de operación que otros pre-limpiadores.
2. Los requisitos de mantenimiento son más elevados que para otros pre-limpiadores
3. No pueden manejar materiales pegajosos o aglutinantes
4. Se encuentran más sujetos a la abrasión que otros pre-limpiadores

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Separadores de momento

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Los separadores de momento se emplean para el control de partículas de tamaño grueso, principalmente aquellas de diámetro aerodinámico superior a $10 \mu m$.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

En estos equipos, se provoca un cambio drástico en la dirección del gas contaminado, a través de deflectores estratégicamente colocados. El gas, que fluye hacia abajo, es obligado por los deflectores a dirigirse súbitamente hacia arriba. El momento inercial y la gravedad actúan sobre las partículas en dirección hacia abajo, por lo que, las más grandes, se escapan de las líneas de corriente del gas, recolectándose en el fondo de la cámara.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

A partir de información de la *EPA* (1982) sobre los valores de eficacia de control para un separador de momento utilizado en el control de ceniza de una caldera que quema carbón pulverizado, se han observado valores de un 5% para partículas con diámetros superiores a $5 \mu m$, eficacias de control comprendidas entre el 10 y el 20% para partículas con diámetros superiores a $10 \mu m$ y de más del 99% para partículas con diámetros superiores a $90 \mu m$.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los separadores por momento por sí solos no son adecuados para el control estricto de partículas en suspensión en el aire, pero cumplen un propósito importante como pre-limpiadores, antes de equipos de control final como precipitadores electrostáticos o filtros de tela. Los separadores por momento se utilizan en una amplia variedad de procesos industriales.

VENTAJAS

Los separadores por momento comparten muchas de las ventajas de otros separadores mecánicos:

1. La inversión inicial es baja.
2. Carecen de partes móviles, por lo que presenta pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.
3. Necesitan menos espacio que las cámaras de sedimentación.
4. La caída de presión es relativamente baja comparada con la cantidad de partículas a remover.
5. Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.
6. La recolección y disposición tiene lugar en seco.

DESVENTAJAS

Los separadores por momento, también comparten las desventajas de otros recolectores mecánicos:

1. Las eficiencias de recolección de partículas son relativamente bajas.
2. No son adecuados para manejar materiales pegajosos o aglutinantes.
3. Las caídas de presión son mayores que las producidas en cámaras de sedimentación.
4. Debido a la caída de presión pueden los costos de operación pueden resultar mayores.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Ciclones

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Los ciclones se usan para el control de partículas, principalmente aquellas de diámetro aerodinámico superior a $10\ \mu m$. Existen también ciclones de alta eficacia, diseñados para retener partículas con diámetros aerodinámicos por encima de $2.5\ \mu m$.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los ciclones utilizan la inercia para eliminar partículas de la corriente del gas. Se imparte una fuerza centrífuga a la corriente de gas, normalmente en una cámara de forma cónica, creándose un vórtice doble dentro del cuerpo del ciclón. El gas que entra es obligado a descender por el cuerpo del ciclón con movimiento circular cerca de las paredes internas del ciclón. En el fondo del ciclón, la dirección del gas se invierte y sube en espirales por el centro del tubo, saliendo por la tapa del ciclón. Las partículas en la corriente del gas son enviadas contra la pared del ciclón por la fuerza centrífuga del gas en rotación, pero se les opone la fuerza de arrastre del gas que se dirige hacia la salida. Cuando las partículas son grandes, la inercia vence a la fuerza de arrastre, haciendo que las partículas alcancen la pared del ciclón y sean recogidas. Para las partículas más pequeñas, la fuerza de arrastre es mayor que la de inercia y salen del ciclón en la corriente de gas. Debido a la gravedad, las partículas más grandes que llegan a la pared del ciclón caen sobre la tolva. Aunque utilizan el mismo mecanismo de separación que los separadores por impulso, los ciclones son más efectivos porque tienen un patrón de flujo de gas más complejo.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

El rango de eficiencia de control para los ciclones individuales convencionales se estima que está comprendido entre el 70 y el 90 % para partículas con diámetros superiores a $20\ \mu m$, entre el 30 y 90 % para partículas con diámetros superiores a $10\ \mu m$ y de 0 a 40 % para partículas con diámetros desde $2.5\ \mu m$.

Los ciclones individuales de alta eficacia están diseñados para alcanzar mayor control de partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Las eficacias de control para este tipo de ciclones varían entre el 80 y el 99 % para partículas con diámetros superiores a $20\ \mu m$, entre el

60 y el 95% para partículas con diámetros superiores a $10 \mu m$ y del 20 al 70 % para partículas con diámetros superiores a $2.5 \mu m$.

Los ciclones de alta capacidad son adecuados para eliminar partículas mayores de $20 \mu m$, aunque en cierto grado tenga lugar también la recuperación de partículas más pequeñas. Los intervalos en que varía la eficacia de control de los ciclones de alta capacidad son del 80 al 99% para partículas con diámetros superiores a $20 \mu m$, del 10 al 40 % para partículas con diámetros superiores a $10 \mu m$ y del 0 al 10% para partículas con diámetros superiores a $2.5 \mu m$.

Los multi-ciclones pueden alcanzar eficacias de captura de partículas del 80 al 95% para diámetros superiores a $5 \mu m$.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Se utilizan frecuentemente para reducir la carga de partículas en la entrada a dispositivos finales de captura más caros, como precipitadores electrostáticos o filtros de tela, eliminando las partículas abrasivas de mayor tamaño. Es decir, presentan un importante papel como pre-limpiadores antes del equipo de control final. Los ciclones se utilizan también en operaciones de recuperación y reciclado de productos alimenticios y materiales de proceso, como los catalizadores. Otra aplicación es en las industrias química y de alimentos, después de operaciones de secado por aspersión y después de las operaciones de trituración, molienda y calcinación, para capturar material útil o vendible. En la industria de metales ferrosos y no ferrosos, los ciclones se utilizan con frecuencia como primera etapa en el control de las emisiones de partículas en plantas.

Las unidades industriales y comerciales de combustión que utilizan madera y/o combustibles fósiles emplean habitualmente ciclones múltiples (generalmente después de torres húmedas de absorción, precipitadores electrostáticos o filtros de tela), que recolectan partículas finas (menores a $2.5 \mu m$) con mayor eficacia que un solo ciclón.

VENTAJAS

Las ventajas de los ciclones son principalmente:

1. La inversión inicial es baja.
2. Carece de partes móviles, con lo que los requerimientos de mantenimiento y los costos de operación son bajos.

3. La caída de presión es relativamente baja, comparada con la cantidad de partículas recuperadas.
4. Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.
5. La colección y disposición de polvo tiene lugar en seco.
6. Los requisitos espaciales son relativamente pequeños.

DESVENTAJAS

Las desventajas de los ciclones incluyen las siguientes:

1. Las eficiencias de colección partículas en suspensión son relativamente bajas, especialmente para partículas de tamaño inferior a $10^{\mu m}$.
2. No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes.
3. Las unidades de alta eficiencia pueden presentar caídas altas de presión.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Torres de aspersión

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

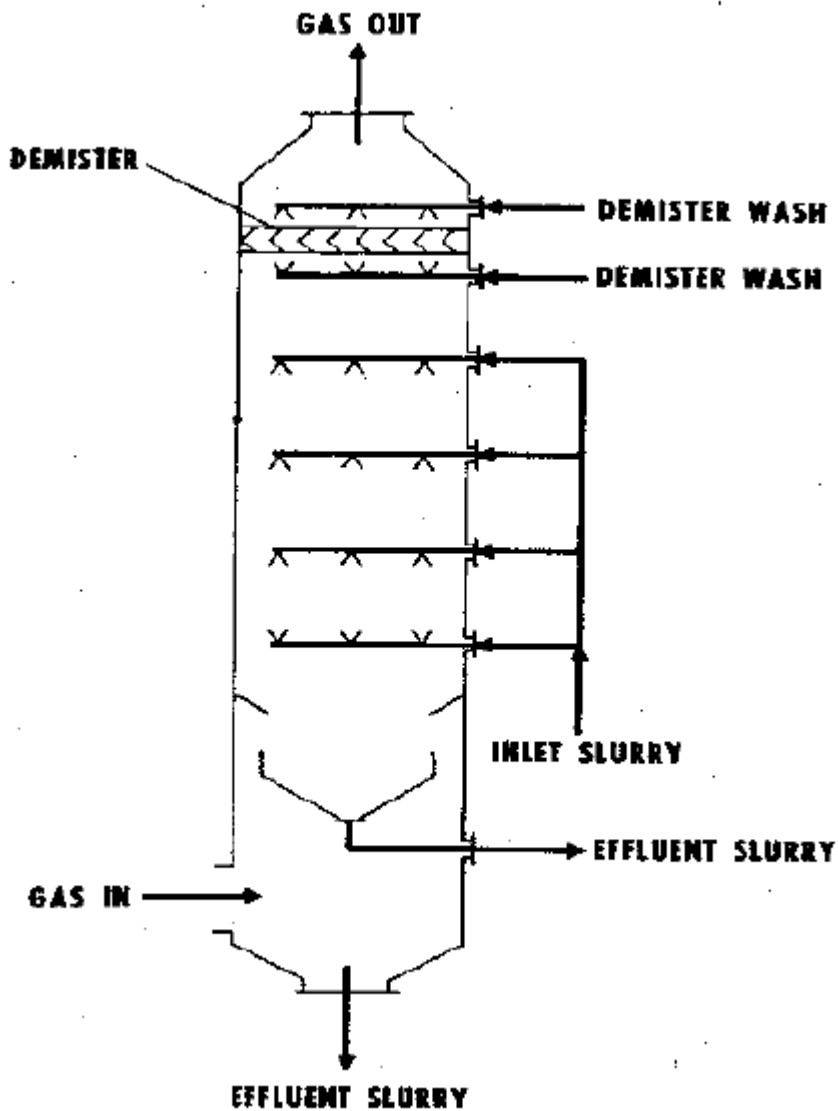
Las torres de aspersión se utilizan principalmente para la recuperación de partículas. Con estos dispositivos es posible la recuperación de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a $2.5 \mu m$, contaminantes peligrosos en forma particulada y vapores y gases inorgánicos, como el ácido crómico, ácido sulfhídrico, amoníaco, cloruros, fluoruros, y dióxido de azufre (SO_2). Estos equipos también pueden ser ocasionalmente utilizados para el control de compuestos orgánicos volátiles (COV).

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los torres de aspersión consisten en cámaras vacías de forma cilíndrica o rectangular por donde el gas asciende, pasando a través de un banco o bancos sucesivos de toberas de aspersión. En su ascenso el gas se encuentra con las gotas del líquido disolvente generadas por las toberas. Las gotas arrastran las partículas contenidas en el gas y disuelven algunos de sus componentes gaseosos.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las torres de aspersión por lo general no se utilizan para el control de partículas finas, ya que serían necesarias grandes proporciones líquido/gas. Las eficacias de control de partículas suspendidas varían del 70 hasta más del 99%, dependiendo de la aplicación, tamaño de la partícula, etc. Para los gases inorgánicos se estima que las eficacias de control varían del 95 al 99%. En el control de SO_2 , se logran eficacias comprendidas entre el 80 y hasta más del 99%, dependiendo del tipo de reactivo utilizado y el diseño de la torre de aspersión. En el control de COV, aunque se puede lograr eficacias superiores al 99% para algunos sistemas contaminante-disolvente, el intervalo típico de valores de eficacia de control varía entre el 50 y el 95%. Las eficacias más bajas representan flujos que contienen compuestos relativamente insolubles, en bajas concentraciones, mientras que las eficacias más altas se obtienen con flujos que contienen compuestos muy solubles en concentraciones altas.



APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Las torres de aspersión se utilizan para el control de emisiones procedentes de tanques de almacenamiento de aceite ligero y de benceno, que utilizan el aceite de lavado como disolvente. Son uno de los lavadores por vía húmeda más empleado para el control de SO_2 en industrias de metales primarios no ferrosos (por ejemplo, cobre, plomo, y aluminio), aunque su uso más extendido se encuentra en los procesos asociados a las plantas de ácido sulfúrico o de azufre elemental.

VENTAJAS

Las ventajas de las torres de aspersión son, principalmente:

1. La caída de presión es relativamente baja.
2. Se pueden manejar polvos inflamables y explosivos con poco riesgo.
3. La construcción con plástico reforzado con fibra de vidrio permite operar en atmósferas altamente corrosivas.
4. La inversión inicial es relativamente baja.
5. No presenta muchos problemas de obstrucción.
6. Los requisitos de espacio son relativamente bajos.
7. Tienen capacidad para capturar tanto partículas como gases.

DESVENTAJAS

Las desventajas de las torres de aspersión son :

1. Puede existir un problema con el agua (o líquido) residual.
2. El producto retirado se recolecta en húmedo.
3. Las eficiencias de transferencia de masa son relativamente bajas.
4. No es muy adecuado para la recuperación de partículas finas.
5. Cuando se utiliza para su construcción plástico reforzado con fibra de vidrio, resulta sensible a la temperatura.
6. Presentan costos de operación relativamente altos.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Torres de platos

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

La torre de platos resulta especialmente útil para la recuperación de partículas, pudiendo retener partículas de diámetro aerodinámico superior a $2.5 \mu m$, contaminantes peligrosos en forma de partículas y humos inorgánicos, vapores, y gases (por ejemplo, ácido crómico, ácido sulfhídrico, amoníaco, cloruros, fluoruros, y dióxido de azufre, (SO_2)). Estos equipos también pueden ser utilizados ocasionalmente para el control de compuestos orgánicos volátiles (COV).

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Una torre de platos es una cámara vertical con placas montadas horizontalmente dentro de un caparazón hueco. El líquido lavador fluye hacia abajo mientras que la corriente de gas, con el o los contaminantes, fluye hacia arriba. El contacto entre el líquido y el gas tiene lugar sobre las placas o platos, que 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. En el caso de control de partículas, el líquido, tras el contacto, arrastra las partículas en su caída. Después del plato de fondo, el líquido y las partículas recuperadas fluyen hacia el exterior por el fondo de la torre. En el caso de control de gases inorgánicos, el disolvente más utilizado es el agua, aunque se emplean también otros como la solución cáustica para la absorción de gases ácidos. Cuando se quiere controlar SO_2 , éste reacciona con el absorbente líquido, formando una mezcla en húmedo de sulfito y sulfato de calcio precipitados.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Partículas: las eficacias de control de las torres de platos varían del 50 al 99 %, dependiendo de la aplicación. No se recomiendan las torres de platos para el control de partículas pequeñas menores de $1 \mu m$ de diámetro aerodinámico.

Gases Inorgánicos: se estima que las eficacias de eliminación varían entre el 95 y el 99 %. Para el control de SO_2 , las eficacias de control varían desde el 80 hasta más del 99%, dependiendo del tipo de reactivo utilizado y del diseño de la torre. Las aplicaciones más recientes tienen una eficacia de remoción de SO_2 superior al 90 %.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Las torres de platos se utilizan habitualmente en la industria agrícola, alimenticia, y en las fundiciones de acero gris.

La desulfuración del gas de salida (DGS), se emplea para el control de emisiones de SO_2 producido durante la combustión de carbón y aceite procedentes de fuentes industriales y de plantas generadoras de electricidad. Las plantas de ácido sulfúrico o de azufre elemental son las que utilizan más frecuentemente estos dispositivos. También se utilizan para controlar emisiones de SO_2 procedentes de procesos industriales de metales primarios no ferrosos, como cobre, plomo, y aluminio.

VENTAJAS

Las ventajas de las torres de platos son:

10. Pueden manejar polvos inflamables y explosivos con poco riesgo.
11. Permiten la absorción de gases y la recolección de polvo en una sola unidad.
12. Pueden manejar neblinas.
13. La eficacia de control puede ser variada.
14. Proveen enfriamiento a los gases calientes.
15. Se pueden neutralizar gases corrosivos y polvos.
16. Se logra un buen contacto entre el gas y el absorbente para la eliminación de SO_2 .

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

5. El líquido efluente puede crear problemas de contaminación del agua y requiere tratamiento previo a su disposición.
6. El producto residual se recoge en húmedo.
7. Existe una alta posibilidad de problemas de corrosión.
8. Se requiere protección contra el congelamiento.
9. El gas de escape puede necesitar un recalentamiento para evitar una pluma (vapor) visible.
10. Las partículas retenidas pueden ser contaminantes y no ser reciclables.
11. El tratamiento del residuo fangoso puede ser muy costoso.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Torres Empacadas

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se utilizan principalmente para el control de vapores, y gases inorgánicos, como el ácido crómico, ácido sulfhídrico, amoníaco, cloruros, fluoruros, y dióxido de azufre, (SO_2) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Se pueden emplear en el control partículas con diámetros aerodinámicos superiores a $2.5 \mu m$, incluyendo contaminantes peligrosos del aire en forma de partículas.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

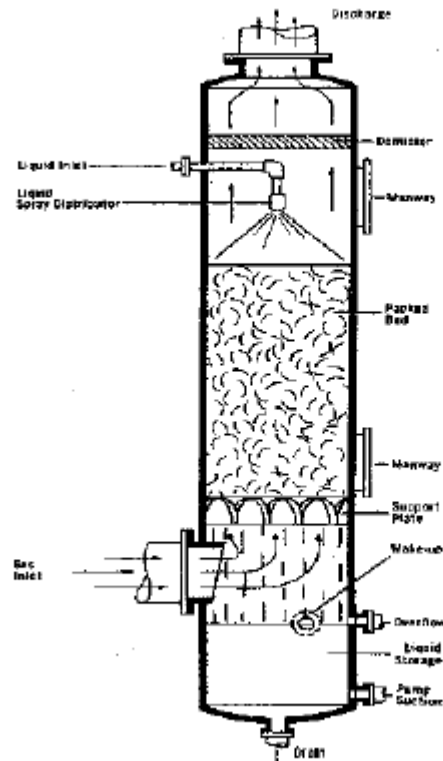
Las torres empacadas consisten en una cámara que contiene capas de material de empaque (relleno), como los anillos *Raschig*, anillos en espiral, o monturas *Berl*, que proporcionan una gran superficie de contacto entre el líquido y las partículas. El líquido lavador se introduce uniformemente desde la cabeza de la torre y fluye hacia abajo, cubriendo el empaque. El contaminante a ser absorbido debe ser soluble en el líquido. La corriente de gas fluye hacia la parte superior de la cámara, contra la corriente del líquido.

El agua es el disolvente más común utilizado para eliminar contaminantes inorgánicos. Para el control de gases ácidos (por ejemplo, HCl, SO_2 , o ambos) se utiliza solución cáustica (hidróxido sódico, NaOH), carbonato sódico (Na_2CO_3) e hidróxido cálcico (cal apagada, $Ca(OH)_2$).

Para su uso como técnica de control de vapores orgánicos, es necesaria la elección del disolvente apropiado, de modo que el compuesto orgánico sea soluble en él. Así, por ejemplo, se utiliza el agua como disolvente en el caso de compuestos como metanol, etanol, isopropanol, butanol, acetona y formaldehído, solubles en este disolvente. Para la absorción de COV hidrófobos se puede utilizar un bloque de co-polímero disuelto en agua, que deberá ser regenerado o tratado de forma adecuada, una vez utilizado.

El control de partículas se realiza por impacto de éstas contra el relleno, al pasar la corriente de gas a través de este material. El líquido, en su caída sobre el material de relleno, recolecta las partículas impactadas y continúa su descenso por la cámara hacia el drenaje en el fondo de la torre. En algunos casos se emplean como eliminadores de niebla para retener partículas líquidas arrastradas por el gas.

En general, estos dispositivos son más apropiados para el control de gases que para el control de partículas, debido a los altos requisitos de mantenimiento que se necesitan en este último caso, como consecuencia del manejo adicional de lodos, válvulas, etc.



Torre empacada

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Se estima que las eficiencias de remoción para contaminantes inorgánicos varían del 95 al 99 %. En el control de COV, los valores de eficacia dependen del sistema contaminante-disolvente y del tipo de absorbente utilizado. En algunos casos se pueden lograr eficacias mayores del 99 %, aunque en general varían del 70 hasta más del 99%. Las eficacias de control en el control de partículas pueden variar entre el 50 y el 95%, dependiendo de la aplicación, tamaños de partículas, gasto de disolvente, presión del líquido, etc.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Las torres empacadas se utilizan típicamente en la industria química, aluminio, coque, aleaciones ferrosas, alimentos, agrícola y cromado por electro-plateado.

VENTAJAS

Las ventajas de las torres empacadas son:

1. La caída de presión es relativamente baja.
2. Su construcción con plástico reforzado con fibra de vidrio permite operar en atmósferas altamente corrosivas.
3. Se pueden lograr eficiencias de transferencia de masa relativamente altas.
4. Es posible variar la altura y/o el tipo de empaque para mejorar la transferencia de masa sin necesidad de adquirir equipo nuevo.
5. La inversión inicial es relativamente baja.
6. Los requisitos de espacio son relativamente bajos.
7. Tiene capacidad para eliminar tanto partículas como gases.

DESVENTAJAS

Las desventajas de las torres empacadas son:

1. Puede resultar un problema el tratamiento del agua (o líquido) residual.
2. El producto residual se recolecta en húmedo.
3. Las altas concentraciones de partículas pueden ocasionar la obstrucción de los lechos o placas y de los conductos.
4. Cuando se utiliza plástico reforzado con fibra de vidrio, tanto la instalación como el lecho son sensibles a la temperatura.
5. Los costos de mantenimiento son relativamente altos (limpieza generalmente manual).

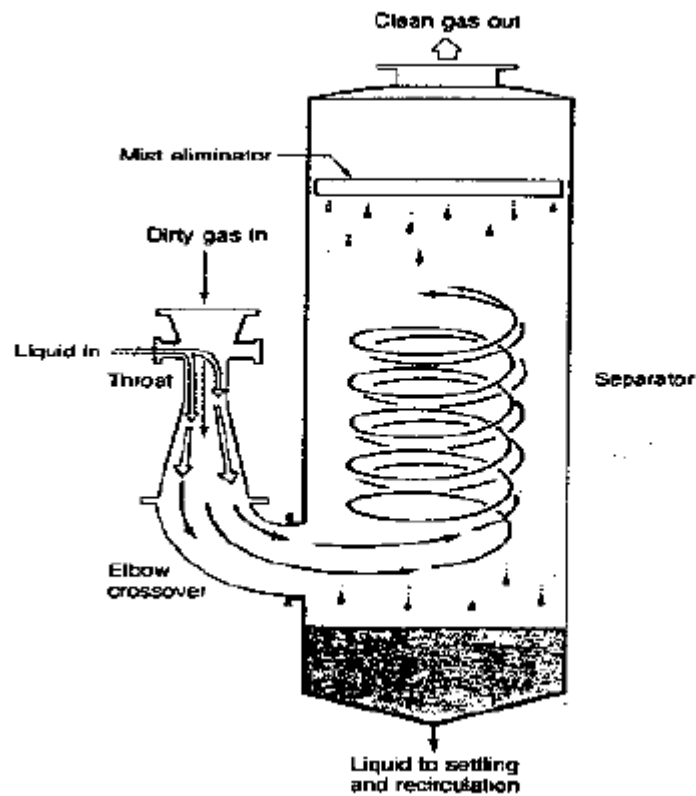
NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Lavadores Venturi

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Los lavadores tipo Venturi se usan principalmente para el control de partículas. Aunque son capaces de cierto control incidental de compuestos orgánicos volátiles (COV), la aplicación principal de los lavadores tipo Venturi es el control de partículas y gases muy solubles.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN



Lavador tipo Venturi

Los lavadores tipo Venturi disponen de una garganta en el interior del conducto que obliga a la corriente de gas a acelerarse al pasar por el estrechamiento. Dependiendo del diseño del lavador es posible rociar el líquido sobre la corriente de gas antes de que el gas llegue a la garganta o dentro de ella. En este último caso, el aumento de la velocidad y la turbulencia del gas ocasionados

por la presencia de la garganta, provocan la atomización del líquido en forma de pequeñas gotas. Las partículas contenidas en el gas interactúan con mayor facilidad con las gotas. Superada la garganta, la mezcla se desacelera, produciéndose impactos que permiten la aglomeración de gotas y partículas.

Una disposición común consiste en la aplicación posterior de un separador ciclónico o un eliminador de neblinas, para la separación de las partículas y el líquido.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficacias de control de los lavadores tipo Venturi varían desde el 70 hasta más del 99%, dependiendo de la aplicación. Se pueden recuperar partículas con diámetros aerodinámicos comprendidos entre 0.5 y 5 μm .

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los lavadores tipo Venturi han sido aplicados para el control de las emisiones de partículas procedentes de calderas termoeléctricas alimentadas con carbón, aceite, madera, y residuos líquidos. También se han empleado para el control de fuentes de emisión en industrias químicas de productos minerales, madera, pulpa y papel, de productos de piedra y manufactureras de asfalto, industrias del plomo, aluminio, hierro, acero y acero gris e incineradores municipales de residuos sólidos. En general, los lavadores tipo Venturi se utilizan en los procesos en que es necesario obtener altas eficiencias de recolección de partículas finas.

VENTAJAS

Las ventajas de los lavadores tipo Venturi son:

1. Pueden manejar polvos inflamables y explosivos con bajo riesgo.
2. Pueden manejar neblinas.
3. Tienen relativamente pocos requisitos de mantenimiento.
4. Son de diseño sencillo y fáciles de instalar.
5. La eficiencia de recolección puede ser variada.
6. Proporcionan enfriamiento para los gases calientes.
7. Los gases corrosivos y polvos se pueden neutralizar.

DESVENTAJAS

Las desventajas de los lavadores tipo Venturi son:

1. El líquido efluente puede crear problemas de contaminación del agua.
2. El producto residual se recolecta en húmedo.
3. Existen probabilidades altas de tener problemas de corrosión.
4. Se requiere protección contra el congelamiento.
5. El gas de escape puede requerir recalentamiento para evitar una pluma visible.
6. Las partículas recolectadas pueden ser contaminantes, y no ser reciclables.
7. El tratamiento del fango residual puede resultar muy caro.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Lavadores de orificio

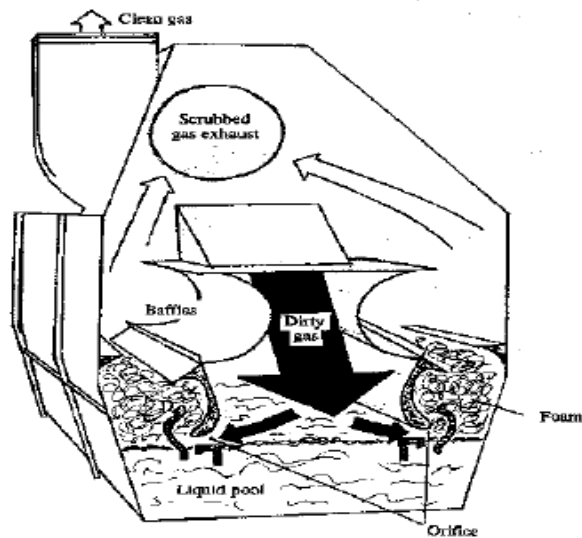
CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Los lavadores de orificio se usan principalmente para el control de partículas, recogiéndose fundamentalmente aquellas con diámetros aerodinámicos superiores a $2.5 \mu m$. Existen referencias de control de partículas de diámetro aerodinámico próximo a $2 \mu m$.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

En los lavadores de orificio se envía la corriente de gas cargada de partículas hacia la superficie de una pileta con líquido absorbente, a gran velocidad. A su paso por los orificios el gas arrastra al líquido en forma de gotas. La velocidad y la turbulencia del gas aumentan al atravesar lo orificios, incrementándose la interacción entre las partículas y las gotas de líquido atomizadas.

Las partículas y las gotas impactan sobre una serie de deflectores que la corriente de gas encuentra al salir del orificio y son así eliminadas de la corriente de gas. El líquido y las partículas recogidas se drenan de vuelta desde los deflectores hacia la pileta de líquido por gravedad, en vez de utilizar una bomba, como en los depuradores tipo Venturi, ya que la alimentación de líquido se produce desde el fondo del equipo.



Lavador de Orificio

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficacias de recuperación de los lavadores de orificio varían del 80 al 99 %, dependiendo de la aplicación y el diseño del equipo. Este tipo de dispositivo recupera partículas casi exclusivamente por inercia y difusión. Algunos dispositivos están dotados de orificios ajustables para controlar la velocidad de la corriente de gas.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los lavadores de orificio se usan en aplicaciones industriales como:

- procesamiento y embalaje de alimentos (cereales, harina, sal, azúcar, etc.)
- procesamiento y embalaje de productos farmacéuticos
- manufactura de productos químicos, caucho, plásticos, cerámica, y fertilizantes
- procesos controlados, como secadoras, cocedores, operaciones de triturado y molido, aspersión (recubrimiento de píldoras y barniz de cerámica), ventilación (respiraderos de recipientes, operaciones de vaciado) y manejo de materiales (estaciones de transferencia, mezclado, vaciado, embalaje).

VENTAJAS

Las ventajas de los lavadores de orificio son:

1. Pueden manejar polvos inflamables y explosivos con poco riesgo.
2. Pueden manejar neblinas.
3. Requiere una proporción relativamente baja de recirculación de agua.
4. La eficiencia de recolección puede ser variada, según las necesidades de control.
5. Proporciona enfriamiento para los gases calientes.
6. Se pueden neutralizar gases corrosivos y polvos.

DESVENTAJAS

Las desventajas de los lavadores de orificio son:

1. El líquido efluente puede crear problemas de contaminación del agua
2. El producto retirado se recolecta en húmedo
3. Existe alta probabilidad de tener problemas de corrosión

-
4. Se requiere protección contra el congelamiento
 5. El gas de escape puede requerir recalentamiento para evitar una pluma visible
 6. Las partículas recuperadas pueden ser contaminantes y no ser reciclables
 7. El tratamiento del residuo fangoso puede ser muy costoso

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Lavadores con Lecho de Fibra

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Los lavadores con lecho de fibra se utilizan, principalmente, para recuperar partículas finas y/o solubles. También se pueden emplear como eliminadores de neblina, separando aerosoles líquidos de compuestos inorgánicos (por ejemplo, la neblina de ácido sulfúrico) y de compuestos orgánicos volátiles (COV).

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

En los lavadores con lecho de fibra, el gas cargado de humedad pasa a través de lechos o telas de fibras de empaque, como vidrio soplado, fibra de vidrio, o acero. En su aplicación a neblinas, las fibras utilizadas pueden ser pequeñas. Para el caso de partículas sólidas las telas deben estar compuestas de fibras gruesas y tener una fracción alta de espacios libres, con el fin de reducir la tendencia a la obstrucción. Las telas se rocían con líquido para facilitar la recolección de partículas, que se depositan sobre las gotas y las fibras.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficacias de control de los lavadores con lecho de fibra para neblinas de partículas y COV, por lo general, varían del 70 hasta más del 99%, dependiendo del tamaño de los aerosoles a ser recolectados y del diseño del lavador y los lechos de fibra.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los lavadores con lechos de fibra están destinados al control de emisiones de aerosol en industrias químicas, de plásticos, de asfalto, de ácido sulfúrico y de recubrimiento de superficies. También se pueden utilizar para controlar las emisiones de neblinas lubricantes de maquinaria en rotación y neblinas de los tanques de almacenamiento. Los lavadores con lecho de fibra se pueden aplicar corriente abajo de otros dispositivos de control, para eliminar la pluma visible.

VENTAJAS

Las ventajas de los lavadores con lecho de fibra son:

17. Pueden manejar polvos inflamables y explosivos con poco riesgo.
18. Pueden manejar neblinas.
19. La caída de presión es relativamente baja.
20. Se produce el enfriamiento de gases calientes.
21. Es posible neutralizar gases corrosivos y polvo.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. El líquido efluente puede crear problemas de contaminación del agua.
2. El producto residual se recolecta en húmedo.
3. Existe una probabilidad alta de tener problemas de corrosión.
4. Se requiere protección contra el congelamiento.
5. Las partículas recolectadas pueden ser contaminantes y no ser reciclables.
6. El tratamiento del residuo fangoso puede resultar muy costoso.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

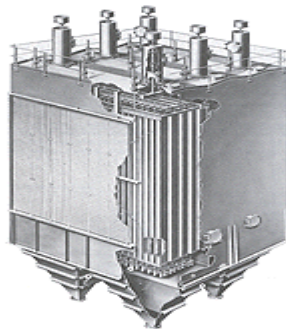
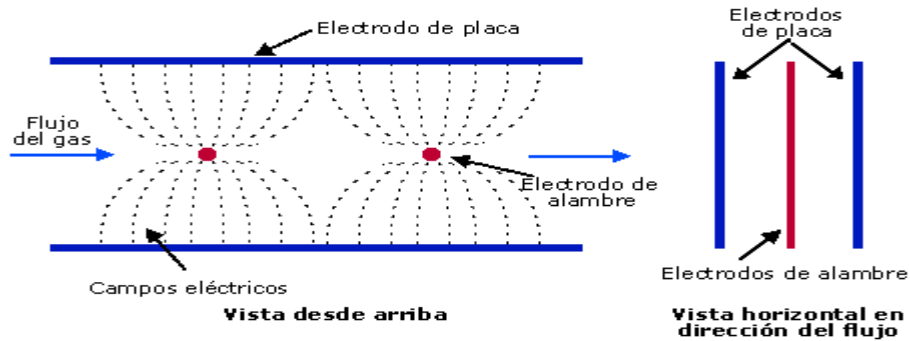
Precipitadores Electrostáticos en húmedo - tipo placa- alambre

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se utilizan en el control de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a $2.5 \mu m$, y contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, como son la mayoría de los metales a excepción del mercurio. También se emplean frecuentemente para controlar neblinas de ácido y pueden proporcionar un control incidental de compuestos orgánicos volátiles.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los precipitadores electrostáticos capturan partículas sólidas presentes en el flujo de gas a través de fuerzas electrostáticas. Las partículas se cargan de electricidad y son atraídas hacia placas metálicas con cargas opuestas ubicadas en el precipitador. Estas placas se lavan, ya sea de forma continua o intermitentemente, con un líquido, generalmente agua. El efluente líquido se retira y puede ser sometido a un tratamiento posterior. En los precipitadores electrostáticos tipo placa, el gas fluye horizontalmente y paralelo a las placas metálicas verticales.



REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficacias típicas de control para equipos nuevos varían entre el 99 y el 99.9%, mientras que equipos más antiguos pueden alcanzar valores comprendidos entre el 90 y el 99.9%. El factor que más afecta al grado de eficacia de control alcanzado es el tamaño del precipitador, ya que de este tamaño va a depender el tiempo de duración del proceso. Cuanto más tiempo permanezca una partícula en el precipitador es más probable que sea atrapada. Por otra parte, el aumento de la fuerza del campo eléctrico, incrementará la eficiencia de recolección del precipitador. También van a influir en el grado de eficacia de control otros factores, como la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y la distribución del tamaño de las partículas.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los precipitadores electrostáticos en húmedo se utilizan en situaciones en las cuales no son apropiados los precipitadores electrostáticos en seco, como cuando se quiere recolectar material húmedo, pegajoso, inflamable, explosivo o de alta resistividad. Por otra parte, a medida que las eficiencias de recolección requeridas han ido aumentando, se han incrementado las aplicaciones de los precipitadores electrostáticos en húmedo. Se utilizan comúnmente en industrias de madera, metalúrgicas y en la producción de ácido sulfúrico, aun cuando también se utilicen en estas industrias otros tipos de precipitadores electrostáticos.

VENTAJAS

Las ventajas de los precipitadores electrostáticos en húmedo son:

1. Las caídas de presión son bajas.
2. Los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos.
3. Son capaces de alcanzar eficacias de control muy altas, incluso con partículas muy pequeñas.
4. Son capaces de operar bajo presiones altas (hasta 1,030 kPa) o en condiciones de vacío
5. Se pueden manejar razones de flujo relativamente grandes de manera efectiva.
6. Pueden recolectar partículas pegajosas y neblinas, así como polvos explosivos o con alta resistividad.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. La inversión inicial es generalmente alta.
2. Los electrodos de descarga fabricados con alambre requieren altos niveles de mantenimiento.
3. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por el efecto de fugas de gas y condensación ácida.
4. Los alambres largos sujetos con pesas tienden a oscilar ocasionando que la parte media del alambre se acerque a las placas, causando chispas y desgaste.
5. En general no son muy apropiados para procesos demasiado variables, debido a su alta sensibilidad a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas (velocidad de flujo, temperatura, composición de las partículas y del gas, y el cargamento de partículas).
6. Son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado puesto que deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas que se necesitan para una recolección eficiente de partículas.
7. Se requiere personal de mantenimiento relativamente sofisticado, así como precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje.
8. El electrodo con carga negativa produce ozono durante la ionización de los gases.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Precipitadores electrostáticos en húmedo - tipo tubo- alambre

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se utilizan en el control de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a $2.5 \mu m$, y contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, como son la mayoría de los metales a excepción del mercurio. También se emplean frecuentemente para controlar neblinas de ácido y pueden proporcionar un control incidental de compuestos orgánicos volátiles.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los precipitadores electrostáticos capturan partículas sólidas presentes en el flujo de gas a través de fuerzas electrostáticas. Las partículas se cargan de electricidad y son atraídas hacia placas metálicas con cargas opuestas ubicadas en el precipitador. Estas placas se lavan, ya sea de forma continua o intermitentemente, con un líquido, generalmente agua. El efluente líquido se retira y puede ser sometido a un tratamiento posterior. En los precipitadores electrostáticos tipo tubo-alambre el gas emitido fluye verticalmente a través de tubos conductivos.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficacias típicas de control para equipos nuevos varían entre el 99 y el 99.9%, mientras que equipos más antiguos pueden alcanzar valores comprendidos entre el 90 y el 99.9%. El factor que más afecta al grado de eficacia de control alcanzado es el tamaño del precipitador, ya que de este tamaño va a depender el tiempo de duración del proceso. Cuanto más tiempo permanezca una partícula en el precipitador es más probable que sea atrapada. Por otra parte, el aumento de la fuerza del campo eléctrico, incrementará la eficiencia de recolección del precipitador. También van a influir en el grado de eficacia de control otros factores, como la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y la distribución del tamaño de las partículas.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los precipitadores electrostáticos en húmedo se utilizan en situaciones en las cuales no son apropiados los precipitadores electrostáticos en seco, como cuando se quiere recolectar material húmedo, pegajoso, inflamable, explosivo o de alta resistividad. Por otra parte, a medida que las

eficiencias de recolección requeridas han ido aumentando, se han incrementado las aplicaciones de los precipitadores electrostáticos en húmedo. Se utilizan en ocasiones en la industria textil, papelera y procesadora de pulpa de madera, metalúrgica (incluyendo los hornos de coque), en los incineradores de residuos peligrosos, y en la producción de ácido sulfúrico, entre otros, aunque también son empleados otros tipos de precipitadores electrostáticos

VENTAJAS

Las ventajas de los precipitadores electrostáticos en húmedo son:

1. Las caídas de presión son bajas
2. Los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos.
3. Son capaces de alcanzar eficacias de control muy altas, incluso con partículas muy pequeñas.
4. Son capaces de operar bajo presiones altas (hasta 1,030 kPa) o en condiciones de vacío
5. Se pueden manejar razones de flujo relativamente grandes de manera efectiva.
6. Pueden recolectar partículas pegajosas y neblinas, así como polvos explosivos o con alta resistividad.
7. El lavado continuo o intermitente impide la acumulación grande de partículas
8. La atmósfera húmeda que resulta de la limpieza con agua permite recolectar partículas de alta resistividad, absorber gases o producir la condensación de contaminantes.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. La inversión inicial es generalmente alta.
2. Los electrodos de descarga fabricados con alambre requieren altos niveles de mantenimiento.
3. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por el efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
4. Los alambres largos sujetos con pesas tienden a oscilar ocasionando que la parte media del alambre se acerque al tubo, causando chispas y desgaste
5. En general no son muy apropiados para procesos demasiado variables, debido a su alta sensibilidad a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas (velocidad de flujo, temperatura, composición de las partículas y del gas, y el cargamento de partículas).

6. Son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado puesto que deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas que se necesitan para una recolección eficiente de partículas
7. Se requiere personal de mantenimiento relativamente sofisticado, así como precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje.
8. El electrodo con carga negativa produce ozono durante la ionización de los gases
9. Los precipitadores en húmedo se limitan a operaciones con temperaturas por debajo de 80 o 90 °C
10. Generalmente deben ser construidos estos equipos con materiales no corrosivos.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

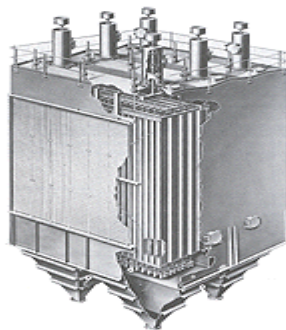
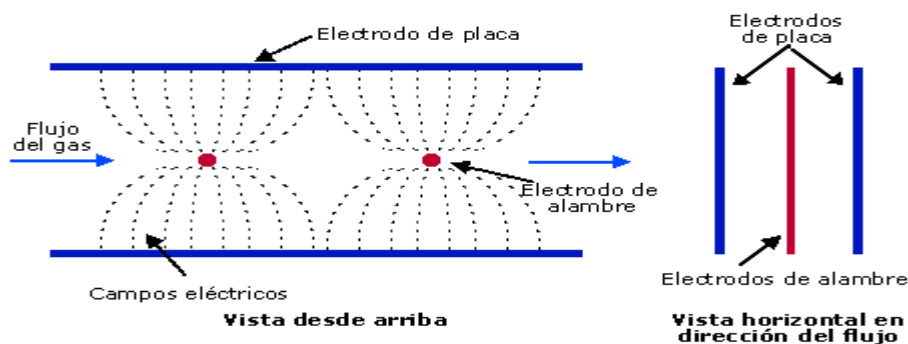
Precipitadores electrostáticos en seco - tipo placa- alambre

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se utilizan en el control de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a $2.5 \mu m$, y contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, como son la mayoría de los metales a excepción del mercurio.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los precipitadores electrostáticos capturan partículas sólidas presentes en el flujo de gas a través de fuerzas electrostáticas. Las partículas se cargan de electricidad, siendo atraídas hacia placas metálicas con cargas opuestas ubicadas en el precipitador. Las partículas se retiran posteriormente de las placas mediante "golpes secos" y se depositan en una tolva situada en la parte inferior de la unidad. En los precipitadores electrostáticos tipo placa, el gas fluye horizontalmente y paralelo a las placas metálicas verticales.



REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficacias típicas de control para equipos nuevos varían entre el 99 y el 99.9%, mientras que equipos más antiguos pueden alcanzar valores comprendidos entre el 90 y el 99.9%. El factor que más afecta al grado de eficacia de control alcanzado es el tamaño del precipitador, ya que de este tamaño va a depender el tiempo de duración del proceso. Cuanto más tiempo permanezca una partícula en el precipitador es más probable que sea atrapada. Por otra parte, el aumento de la fuerza del campo eléctrico, incrementará la eficiencia de recolección del precipitador. También van a influir en el grado de eficacia de control otros factores, como la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y la distribución del tamaño de las partículas.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Aproximadamente el 80% de todos los precipitadores en los E.U.A. se utilizan en la industria de servicios eléctricos públicos. También se emplean en industrias papeleras y de pulpa de madera (7%), cementera y de otros minerales (3%), y de metales no ferrosos (1%).

VENTAJAS

Las ventajas de los precipitadores electrostáticos en húmedo son:

1. Los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos.
2. Son capaces de alcanzar eficacias de control muy altas, incluso con partículas muy pequeñas.
3. Son capaces de operar bajo presiones altas (hasta 1,030 kPa) o en condiciones de vacío.
4. Se pueden manejar razones de flujo relativamente grandes de manera efectiva.
5. Pueden operar para un rango amplio de temperaturas de gases, pudiendo alcanzar temperaturas de hasta 700°C.
6. La recolección y eliminación del residuo en seco permite una manipulación fácil. Los costos de operación son relativamente bajos.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. La inversión inicial es generalmente alta.

2. Los electrodos de descarga fabricados con alambre requieren altos niveles de mantenimiento.
3. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por el efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
4. Los alambres largos sujetos con pesas tienden a oscilar ocasionando que la parte media del alambre se acerque a las placas, causando chispas y desgaste.
5. En general no son muy apropiados para procesos demasiado variables, debido a su alta sensibilidad a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas (velocidad de flujo, temperatura, composición de las partículas y del gas, y el cargamento de partículas).
6. Son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado puesto que deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas que se necesitan para una recolección eficiente de partículas.
7. Se requiere personal de mantenimiento relativamente sofisticado, así como precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje.
8. El electrodo con carga negativa produce ozono durante la ionización de los gases.
9. Los precipitadores secos no son aconsejables para recolectar elementos pegajosos o nieblinas.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Precipitadores electrostáticos en seco - tipo tubo- alambre

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se utilizan en el control de partículas con diámetros aerodinámicos superiores a $2.5 \mu m$, y contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, como son la mayoría de los metales a excepción del mercurio.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los precipitadores electrostáticos capturan partículas sólidas presentes en el flujo de gas a través de fuerzas electrostáticas. Las partículas se cargan de electricidad, siendo atraídas hacia placas metálicas con cargas opuestas ubicadas en el precipitador. Las partículas se retiran posteriormente de las placas mediante "golpes secos" y se depositan en una tolva situada en la parte inferior de la unidad. En los precipitadores electrostáticos tipo tubo-alambre el gas emitido fluye verticalmente a través de tubos conductivos.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficacias típicas de control para equipos nuevos varían entre el 99 y el 99.9%, mientras que equipos más antiguos pueden alcanzar valores comprendidos entre el 90 y el 99.9%. El factor que más afecta al grado de eficacia de control alcanzado es el tamaño del precipitador, ya que de este tamaño va a depender el tiempo de duración del proceso. Cuanto más tiempo permanezca una partícula en el precipitador es más probable que sea atrapada. Por otra parte, el aumento de la fuerza del campo eléctrico, incrementará la eficiencia de recolección del precipitador. También van a influir en el grado de eficacia de control otros factores, como la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y la distribución del tamaño de las partículas.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Muchos de los precipitadores electrostáticos antiguos son de diseño tubo-alambre, que consiste en un solo tubo colocado encima de una chimenea. Los precipitadores electrostáticos en seco de tipo tubo se utilizan en ocasiones en la industria textil, papelera y procesadora de pulpa de madera,

metalúrgica (incluyendo los hornos de coque), en los incineradores de residuos peligrosos, y en la producción de ácido sulfúrico, entre otros, aunque también son empleados otros tipos de precipitadores electrostáticos

VENTAJAS

Las ventajas de los precipitadores electrostáticos en seco son:

1. Los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos.
2. Son capaces de alcanzar eficacias de control muy altas, incluso con partículas muy pequeñas.
3. Son capaces de operar bajo presiones altas (hasta 1,030 kPa) o en condiciones de vacío.
4. Tienen bajas caídas de presión.
5. Pueden operar para un rango amplio de temperaturas de gases, pudiendo alcanzar temperaturas de hasta 700°C.
6. La recolección y eliminación del residuo en seco permite una manipulación fácil. Los costos de operación son relativamente bajos.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. La inversión inicial es generalmente alta.
2. Los electrodos de descarga fabricados con alambre requieren altos niveles de mantenimiento.
3. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por el efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
4. Los alambres largos sujetos con pesas tienden a oscilar ocasionando que la parte media del alambre se acerque al tubo, causando chispas y desgaste
5. En general no son muy apropiados para procesos demasiado variables, debido a su alta sensibilidad a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas (velocidad de flujo, temperatura, composición de las partículas y del gas, y el cargamento de partículas).
6. Son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado puesto que deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas que se necesitan para una recolección eficiente de partículas
7. Se requiere personal de mantenimiento relativamente sofisticado, así como precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje.

8. Los precipitadores secos no son aconsejables para recolectar elementos pegajosos o nieblinas.
9. El electrodo con carga negativa produce ozono durante la ionización de los gases.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Separadores por condensación

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Los equipos de condensación están generalmente destinados al control de partículas finas, con diámetros aerodinámicos comprendidos entre aproximadamente 0.25 y 1.0 μm .

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

El control de emisiones por condensación es una tecnología relativamente reciente. La mayoría de los lavadores convencionales se basan en el impacto y la difusión para lograr el contacto entre las partículas y las gotas de líquido. En un condensador, las partículas actúan como núcleos de condensación para la formación de gotas. Primero es necesario establecer condiciones de saturación en la corriente de gas. Una vez lograda la saturación se inyecta vapor en la corriente de gas. El vapor crea una condición de súper-saturación y se produce la condensación de agua sobre las partículas finas de la corriente de gas. Inmediatamente, las gotas condensadas, de gran tamaño, son removidas por uno de los varios dispositivos convencionales, como por ejemplo, un eliminador de neblina de alta eficiencia.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Se tiene información sobre eficiencias de recolección superiores al 99% para el control de emisiones de partículas.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los condensadores se aplican al control de corrientes de gas con partículas finas. Están diseñados específicamente para capturar las pequeñas partículas que han escapado de un dispositivo de control primario.

VENTAJAS

Las ventajas de los depuradores por condensación incluyen de:

1. Tienen capacidad para manejar polvos inflamables y explosivos con poco riesgo.

2. Presentan capacidad para manejar materia fina.
3. La eficiencia de recolección puede ser variada.
4. Se pueden neutralizar gases corrosivos y polvo.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales los lavadores por condensación son:

1. El líquido efluente puede crear problemas de contaminación de agua.
2. El producto residual se recolecta en húmedo.
3. Presentan probabilidades de tener problemas de corrosión.
4. Se requiere protección contra el congelamiento.
5. El gas de salida puede requerir recalentamiento para evitar una pluma visible.
6. Las partículas recolectadas pueden ser contaminantes y no ser reciclables.
7. El tratamiento del residuo fangoso puede resultar costoso.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Antorchas

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se aplican al control de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), excluyendo los compuestos halogenados.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

La combustión con antorcha es un proceso de control de COV durante el cual éstos son conducidos a través de tubería hacia una localidad, generalmente elevada, donde son quemados en una llama abierta al aire libre, utilizando una boquilla de quemador, un combustible auxiliar, y vapor o aire para facilitar la mezcla. La combustión en una antorcha está gobernada por la temperatura de la llama, el tiempo de residencia en la zona de combustión y la mezcla turbulenta de los componentes de la corriente de gas. La combustión es completa si se produce la transformación total de los COV en dióxido de carbono y agua. Durante la combustión incompleta algunos de los COV permanecen inalterados o se convierten en otros compuestos orgánicos, como aldehídos o ácidos.

Las antorchas se clasifican, por lo general, según dos aspectos:

- (1) la altura de la boquilla de la antorcha, que permite distinguir entre antorchas a nivel del suelo o elevadas
- (2) el método de mejorar la mezcla en la boquilla de la antorcha. Según esta característica se pueden diferenciar antorchas asistidas por vapor, aire o presión, o no asistidas.

La elevación de la antorcha puede evitar condiciones potencialmente peligrosas a nivel del suelo que podrían originarse debido a la proximidad de la llama abierta a unidades de proceso. La elevación de la antorcha también permite la dispersión de los productos de combustión por encima de las áreas de trabajo y reducir efectos de ruido, calor, humo, y olores indeseables.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

La eficiencia de destrucción de COV depende de una temperatura adecuada de la llama, un tiempo de residencia suficiente en la zona de combustión, y una mezcla turbulenta adecuada. Operando en condiciones apropiadas se pueden alcanzar eficiencias de destrucción del 98% o superiores.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Las antorchas pueden ser utilizadas para controlar casi cualquier corriente de COV. Se pueden tratar corrientes con altas fluctuaciones de concentración de COV, de velocidad de flujo, de valor de calentamiento, y de contenido en especies inertes. Su aplicación principal en industrias del petróleo y petroquímicas como dispositivo de seguridad. La mayoría de las plantas químicas y refinerías tienen sistemas de antorcha diseñados para procesos de emergencia en que se requiere la liberación de grandes volúmenes de gas.

VENTAJAS

Las ventajas de las antorchas sobre otros tipos de oxidantes de COV incluyen:

1. Pueden ser una manera económica de desechar descargas repentinas de cantidades grandes de gas
2. En muchos casos no requieren un combustible auxiliar para sostener la combustión
3. Pueden ser utilizadas para controlar corrientes de gas intermitentes o fluctuantes.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. Pueden producir ruido, humo, radiación de calor, y luz indeseables.
2. Pueden ser una fuente de SO_x, NO_x, y CO.
3. No pueden ser utilizados para el tratamiento de corrientes de gas con compuestos halogenados.
4. Se pierde el calor liberado proveniente de la
5. a combustión.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Incineradores térmicos

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se utilizan principalmente para el control de compuestos orgánicos volátiles (COV).

También se destruyen partículas de hollín, emitidas como resultado de la combustión incompleta de hidrocarburos, coque o residuos de carbón.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

La incineración o combustión térmica es el proceso de oxidación de materiales combustibles elevando la temperatura por encima de su punto de auto-ignición en presencia de oxígeno y manteniendo esta temperatura el tiempo suficiente para completar su combustión a dióxido de carbono y agua. Tanto el tiempo como la temperatura, la turbulencia (para la mezcla), y la disponibilidad de oxígeno afectan la velocidad y la eficiencia del proceso de combustión. Estos factores proporcionan los parámetros de diseño básicos para los sistemas de oxidación de COV.

Un incinerador térmico sencillo está compuesto por una cámara de combustión, sin incluir ningún tipo de recuperación de calor del aire de escape. Los incineradores que sí permiten la recuperación de calor por medio de un intercambiador de calor se conocen como incineradores de tipo recuperativo.

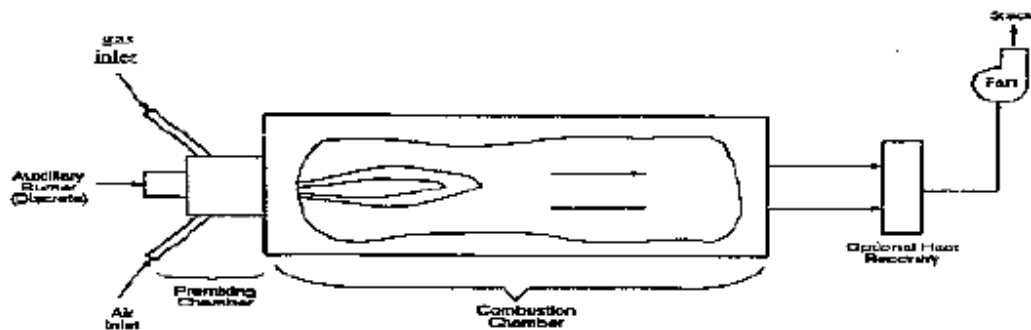


Diagrama esquemático de un incinerador térmico sencillo

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

La eficacia de control de COV depende de los parámetros de diseño como son la temperatura de la cámara, el tiempo de residencia, la concentración de COV en el gas de entrada, el tipo de compuestos y el grado de mezcla. Las eficacias de control varían dentro de un rango del 98 al 99.9999%, dependiendo de los requisitos del sistema y las características de la corriente contaminada.

No existe mucha información sobre la eficacia de control de partículas de estos incineradores, salvo para algunos casos. Por ejemplo, en procesos con anhídrido phtálico se han encontrado valores de eficacia de control que varían entre el 79 y el 96%.

La información que existe del inventario nacional de fuentes de emisión de 1990 de la EPA indica que las eficacias de control de partículas con incineradores varían entre el 25 y el 99%.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los incineradores se pueden utilizar para el control de COV procedentes de diversos procesos como son los siguientes:

- Almacenamiento y carga / descarga de productos de petróleo y otros líquidos orgánicos volátiles
- Limpieza de recipientes (tanques de ferrocarril, carro tanques y barcazas)
- Válvulas de purga de proceso en la Industria Manufacturera de Compuestos Químicos Orgánicos Sintéticos
- Manufactura de pinturas
- Productos de caucho y manufactura de polímeros
- Manufactura de madera multilaminar
- Operaciones de recubrimiento de superficies:

Aparatos eléctricos, alambre magnético, automóviles, latas, carretes de metal, papel, película y lámina, cintas y etiquetas sensitivas a presión, cinta magnética, recubrimiento e imprimido de telas, muebles de metal, muebles de madera, paneles de hoja de madera, aeronáutica, productos de metal misceláneos;

- Recubrimientos flexibles de vinilo y uretano
- Industria de artes gráficas
- Localidades para el Tratamiento, Almacenamiento y Desecho de residuos tóxicos.

VENTAJAS

Los incineradores son uno de los métodos más positivos y contrastados para destruir COV con eficiencias hasta el 99.9999%. Los incineradores térmicos son la mejor solución cuando se necesitan altas eficiencias y el gas está por encima del 20% del límite explosivo inferior.

DESVENTAJAS

Los costos de operación de los incineradores térmicos son relativamente altos, debido a los costos del combustible suplemental.

No están indicados para corrientes con flujos variables debido a que, cuando los flujos son elevados, se reduce el tiempo de residencia y la mezcla es deficiente, dificultándose la combustión completa. Esto conduce a un descenso de la temperatura de la cámara de combustión y, por tanto, de la eficacia de destrucción.

Los incineradores, en general, no son recomendables para controlar gases con compuestos halogenados o azufrados, debido a la formación de gases altamente corrosivos. En tales casos, pudiera ser necesaria la instalación de un sistema de tratamiento de gases ácidos de post-oxidación, dependiendo de la concentración en la salida. Los incineradores térmicos, además no son, generalmente, efectivos en costo para corrientes de vapores orgánicos con bajas concentraciones y flujos elevados.

Aún con la recuperación de energía calorífica, los costos de operación de un incinerador son relativamente altos debido al costo del combustible adicional.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Incineradores térmicos de tipo recuperativo

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se utilizan principalmente para el control de compuestos orgánicos volátiles (COV).

También se destruyen partículas de hollín, emitidas como resultado de la combustión incompleta de hidrocarburos, coque, o residuos de carbón.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

La incineración o combustión térmica es el proceso de oxidación de materiales combustibles elevando la temperatura por encima de su punto de auto-ignición en presencia de oxígeno y manteniendo esta temperatura el tiempo suficiente para completar su combustión a dióxido de carbono y agua. Tanto el tiempo como la temperatura, la turbulencia (para la mezcla), y la disponibilidad de oxígeno afectan la velocidad y la eficiencia del proceso de combustión. Estos factores proporcionan los parámetros de diseño básicos para los sistemas de oxidación de COV.

En los incinerados de tipo recuperativo se incluye, además de la cámara de combustión, un sistema de recuperación de calor del gas de escape. Los dos tipos de intercambiadores de calor utilizados más comúnmente son los de "placa a placa" y el de "armazón y tubo". Los intercambiadores de placa a placa ofrecen una gran eficiencia en la recuperación de energía a un costo menor que los diseños de armazón y tubo. Sin embargo, cuando las temperaturas de los gases exceden los 540° C, los intercambiadores de tubo generalmente tienen costos de adquisición menores que los diseños de placa a placa. Además, los intercambiadores de armazón y tubo ofrecen una mejor garantía estructural a largo plazo que las unidades placa a placa.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

La eficacia de control de COV depende de los parámetros de diseño como son la temperatura de la cámara, el tiempo de residencia, la concentración de COV en la entrada, el tipo de compuestos y el grado de mezcla. Las eficacias de control varían dentro de un rango del 98 al 99.9999%, dependiendo de los requisitos del sistema y las características de la corriente contaminada.

En cuanto al control de partículas, las eficiencias de recolección pueden variar entre el 25 y el 99%.

VENTAJAS

Los incineradores son uno de los métodos más positivos y contrastados para la destrucción de COV, con eficacias hasta el 99.9999%. Los incineradores recuperativos son por lo general más económicos que los incineradores térmicos sencillos porque recuperan alrededor del 70% del calor procedente de los gases de escape. Este calor puede ser utilizado en diferentes etapas del proceso.

DESVENTAJAS

Aún con la recuperación de energía calorífica, los costos de operación de un incinerador son relativamente altos debido al costo del combustible suplemental.

Los incineradores térmicos, incluyendo los tipos recuperativos, no están indicados para corrientes con flujos muy variables, debido a que en condiciones de flujo creciente se reducen los tiempos de residencia y la mezcla empeora. Como resultado de esta situación, la temperatura de la cámara de combustión desciende y disminuye la eficiencia de destrucción.

Los incineradores, en general, no son recomendables para controlar gases que contengan compuestos halogenados o con azufre, debido a la formación de cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno gaseoso, dióxido de azufre, y otros gases altamente corrosivos. En estos casos puede ser necesaria la instalación de un sistema de tratamiento de gases ácidos de postoxidación, dependiendo de la concentración en la salida, lo que puede resultar una opción poco económica.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

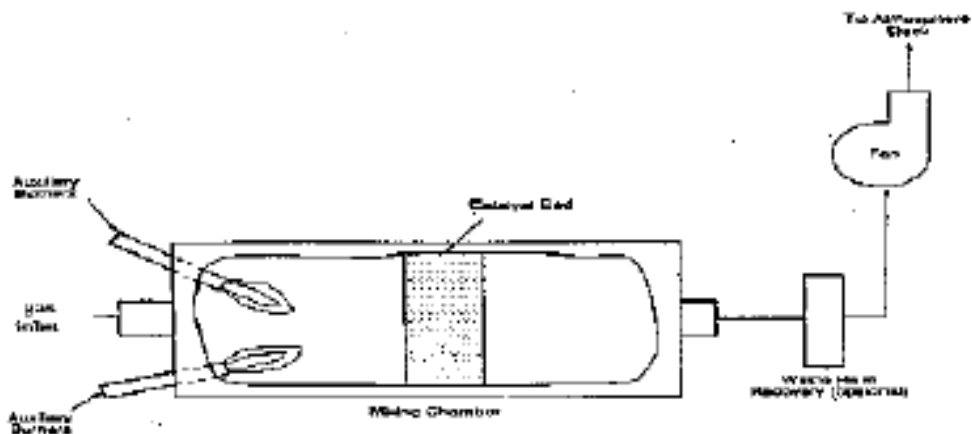
Incineradores catalíticos

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Compuestos orgánicos volátiles (COV) y varios tipos de partículas.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Los incineradores catalíticos operan de una manera muy similar a los incineradores térmicos / recuperativos, con la diferencia principal de que el gas, después de atravesar el área de la llama, pasa a través de un lecho de catalizador. El catalizador tiene el efecto de incrementar la velocidad de la reacción de oxidación, permitiendo que la reacción tenga lugar a temperaturas menores que en los incineradores térmicos. De este modo se consiguen unidades de menor tamaño con la misma eficiencia de destrucción.



Incinerador catalítico

Los catalizadores utilizados típicamente para la incineración de COV son el platino y el paladio. También pueden utilizarse óxidos metálicos, especialmente para el caso de gases con compuestos clorados.

Un problema que puede suceder es que las partículas se depositen sobre el catalizador, de manera que los lugares activos del catalizador pierdan su capacidad de ayudar en la oxidación de los contaminantes de la corriente de gas. Este efecto que producen las partículas sobre el

catalizador se conoce como saturación o bloqueo (del inglés “blinding”) y con el tiempo puede provocar la desactivación del catalizador.

El método del contacto entre la corriente de los gases a tratar y el catalizador permite diferenciar distintos sistemas de incineración catalítica. Así por ejemplo, se utilizan sistemas de lecho fijo y sistemas de lecho fluido.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

La eficacia de control de COV depende de la composición de éstos y su concentración, de la temperatura de operación, de la concentración de oxígeno, de las características del catalizador, y del cociente entre el flujo volumétrico de gas que entra en la cámara del lecho de catalizador y el volumen de éste. Por lo general, se alcanzan eficiencias de destrucción de COV superiores al 90%.

Las eficacias de control de partículas, por lo general alcanzan valores comprendidos entre el 50 y el 95%, en función del tamaño y composición de las partículas.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Los incineradores catalíticos pueden utilizarse para reducir emisiones procedentes de diversas fuentes estacionarias. Las industrias que recurren a procesos de evaporación de solventes en operaciones de recubrimiento de superficies e imprenta utilizan ampliamente la incineración catalítica. También se emplea esta técnica para el control de 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 (no a granel)
- Válvulas de purga de proceso en la Industria Manufacturera de Compuestos Químicos Orgánicos Sintéticos (petroquímica secundaria y terciaria)
- Productos de caucho y manufactura de polímeros
- Manufactura de resinas de polietileno, poliestireno y poliéster.

VENTAJAS:

Las ventajas de los incineradores catalíticos sobre otros tipos de incineradores son:

1. Menores requisitos de combustibles
2. Menores temperaturas de operación
3. Pocos o ningún requisito de aislamiento
4. Peligros de incendio reducidos
5. Problemas de flashback o flujo inverso reducidos
6. Se requiere menor relación entre volumen/tamaño.

DESVENTAJAS:

Las desventajas de los incineradores catalíticos incluyen:

1. Costo inicial alto
2. Es posible el envenenamiento del catalizador
3. Deben eliminarse las partículas en primer lugar
4. Queda como residuo el catalizador usado que no se pueda regenerar.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Adsorción

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Compuestos orgánicos volátiles (COV) y gases inorgánicos.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

En los procesos de adsorción, los gases vapores y líquidos son retenidos selectivamente en la superficie o en los poros de un sólido, especialmente preparado, como consecuencia de un proceso de difusión y retención por fuerzas superficiales o polares.

La eficacia de la retención depende de la naturaleza del sistema adsorbente. Los medios adsorbentes tienen una elevada porosidad y área superficial para facilitar el contacto sólido gas, pudiendo alcanzar superficies de 400 m²/g. Los materiales comúnmente utilizados como adsorbentes son:

- Carbón activado, utilizado en la eliminación de olores y de compuestos orgánicos.
- Silica gel, se utiliza principalmente para deshidratar el aire y otros gases, pero su temperatura de operación está limitada a 250° C.
- Alúmina activada (óxido de aluminio), se utiliza en la deshidratación y depuración de gases con compuestos de flúor, como en la electrólisis de aluminio.
- Zeolitas (aluminosilicatos metálicos cristalinos) también conocidas como Tamices moleculares, se utilizan para la separación selectiva de moléculas polares tales como SH², NH₃ y C₂H₂ y, se usan para la suavización de agua. Se han desarrollado recientemente tamices moleculares para el control de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), y mercurio (Hg).
- Polímeros

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Uno puede esperar que un sistema de adsorción bien diseñado alcance entre el 95% y el 98% de eficiencia de control a concentraciones de entrada entre 500 y 2000 ppm en aire.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Incluye las emisiones de actividades tales como: tintorerías, desengrasado, pintura con pistola de aire, extracción con solventes, recubrimiento de lámina metálica, revestimiento con papel o con película de plástico, imprenta, farmacéuticos, hule, linóleo y envoltura transparente. Cualquier

proceso que genere emisiones de COV a concentraciones bajas (tan bajas como 20 ppm), a flujos de aire relativamente altos (mayores de 142 metros cúbicos por minuto), debe considerar la tecnología de absorción para concentrar el COV en la corriente de emisión, antes del tratamiento final, y el reciclaje o la destrucción.

VENTAJAS

Las ventajas de los sistemas de adsorción:

1. Se puede recuperar el producto.
2. Magnífico control y respuesta a los cambios de proceso.
3. No existe problema de la colocación final de producto químico, cuando el contaminantes, (producto), se recupera y devuelve al proceso.
4. Capacidad de utilizar sistemas totalmente automáticos y operar sin personal.
5. Capacidad de eliminación de los contaminantes gaseosos o en forma de vapor de las corrientes de proceso hasta niveles extremadamente bajos.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. La posible recuperación del producto requiere un sistema de destilación o (extracción) costoso o poco usual.
2. Se deteriora progresivamente la capacidad del adsorbente a medida que se incrementa el número de ciclos.
3. La regeneración del adsorbente requiere una fuente de vapor o vacío.
4. Inversión inicial relativamente elevada.
5. Puede requerirse el prefiltrado de la corriente gaseosa para eliminar cualquier partícula que pueda tapar el lecho del adsorbente.
6. Puede requerirse el enfriamiento de la corriente de gas para llegar al intervalo usual de operación (menos de 50°C)
7. Requerimientos relativamente elevados de vapor para desorber los hidrocarburos de alto peso molecular

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Adsorbedores de carbón activado

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Las emisiones de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y de contaminantes peligrosos del aire pueden ser: controladas, recuperadas, recicladas o concentradas para su tratamiento posterior por medio de la tecnología de adsorción. Esto incluye las emisiones de actividades tales como: tintorerías, desengrasado, pintura con pistola de aire, extracción con solventes, recubrimiento de lámina metálica, revestimiento con papel o con película de plástico, imprenta, farmacéuticos, hule, linoleo y envoltura transparente. Cualquier proceso que genere emisiones de COV a concentraciones bajas (tan bajas como 20 ppm), a flujos de aire relativamente altos (mayores de 142 metros cúbicos por minuto), debe considerar la tecnología de absorción para concentrar el COV en la corriente de emisión, antes del tratamiento final, y el reciclaje o la destrucción. Se usa principalmente para recuperar compuestos orgánicos valiosos, por ejemplo, el percloroetileno que se usa en los procesos de lavado al seco

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

El adsorbedor de carbón usa partículas de carbón activado para controlar y recuperar las emisiones gaseosas contaminantes. En este proceso el gas es atraído y se adhiere a la superficie porosa del carbón activado. Los sistemas de adsorción pueden ser regenerativos o no. Un sistema regenerativo usualmente contiene más de un lecho de carbón. Mientras un lecho retira activamente los contaminantes, el otro se regenera para su futuro uso. Los sistemas de regeneración se usan cuando la concentración del contaminante en el flujo de gas es relativamente alto.

Usualmente, los sistemas no regenerativos tienen lechos más delgados de carbón activado. En un adsorbedor no regenerador, el carbón gastado se desecha cuando se satura con el contaminante. Debido al problema de desechos sólidos que genera este sistema, los adsorbedores no regenerativos de carbón se usan cuando la concentración del contaminante es sumamente baja.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficiencias típicas de recuperación del 95 al 99%.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

La adsorción es ampliamente usada como método de recuperación de productos valiosos en la industria química y del petróleo. Como técnica de control de emisiones se emplea comúnmente para recuperar vapores orgánicos (solventes) y vapores inorgánicos (ácidos fuertes).

VENTAJAS

Las ventajas de los adsorbedores de carbón:

1. Se puede recuperar el producto.
2. Magnífico control y respuesta a los cambios de proceso.
3. No existe problema de la colocación final de producto químico, cuando el contaminantes (producto), se recupera y devuelve al proceso.
4. Capacidad de utilizar sistemas totalmente automáticos y operar sin personal.
5. Capacidad del eliminación de los contaminantes gaseosos o en forma de vapor de las corrientes de proceso hasta niveles extremadamente bajos.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. La posible recuperación del producto requiere un sistema de destilación o (extracción) costoso o poco usual.
2. Se deteriora progresivamente la capacidad del adsorbente a medida que se incrementa el número de ciclos.
3. La regeneración del adsorbente requiere una fuente de vapor o vacío.
4. Costo de capital relativamente elevado.
5. Puede requerirse el prefiltrado de la corriente gaseosa para eliminar cualquier partícula que pueda tapar el lecho del adsorbente.
6. Puede requerirse el enfriamiento de la corriente de gas para llegar al intervalo usual de operación (menos de 50° C)
7. Requerimientos relativamente elevados de vapor para desorber los hidrocarburos de alto peso molecular

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Modificación de los procesos de combustión

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

El interés principal respecto a la contaminación del aire en zonas urbanas se centra en los dos óxidos más comunes: el *óxido nítrico (NO)*, y el *bióxido de nitrógeno (NO₂)*, aun cuando el nitrógeno forma ocho diferentes óxidos, denominados en general denominados NOx. En recientes años ha aumentado el interés en la reducción de las emisiones del óxido nitroso (N₂O), por su contribución a los gases de efecto invernadero.

Los óxidos de nitrógeno encontrados en los gases producidos por combustión, se clasifican en óxidos nitrógeno térmicos, inmediatos y del combustible.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Las técnicas de control de la combustión se usan para reducir emisiones de NOx, tomando ventaja de los procesos cinéticos y termodinámicos. Algunos reducen la temperatura máxima de la flama, otros reducen la concentración de oxígeno en la zona primaria de la flama y otros más usan la combustión en dos etapas, promoviendo la transformación de NOx a nitrógeno y oxígeno.

Reducción del aire de combustión.-Por la simple reducción de la cantidad de aire en exceso, las concentraciones de oxígeno bajan en la zona de la flama y reduce la producción de NOx, sin embargo, ello es una desventaja, pues también viene una disminución de la eficiencia de combustión.

Reducción del gas precalentado.- La energía que se añade al aire causa un aumento en la temperatura de la flama. Reduciendo el aire precalentado se disminuye la temperatura de la flama y se reduce la formación térmica de óxidos de nitrógeno.

Enfriamiento de la zona de combustión.-La inyección de vapor o agua en la cámara de combustión proporciona una salida de calor, que reduce la temperatura máxima de la flama.

Recirculación de los gases de combustión.-Parte de los gases fríos de la combustión se reinyecta a la zona de combustión. Esto tiene dos efectos: la concentración de oxígeno disminuye en la zona primaria de la flama y el nitrógeno adicionado absorbe calor, actuando como un sumidero de calor, lo cual reduce la producción de NOx. La reducción de NOx está en función de la cantidad de gas recirculada. Una desventaja es el mayor costo del conjunto en tuberías, pues están implícitos mayores volúmenes de gas.

Combustión en dos etapas. En la primera etapa se baja la temperatura máxima porque no se quema todo el combustible y se alcanza la temperatura máxima cuando se ha usado todo el oxígeno, de modo que no exista oxígeno suficiente como para formar NOx. En la segunda etapa, se ha extraído una cantidad suficiente del calor liberado en la primera como para que la

temperatura máxima alcanzada –en presencia de oxígeno en exceso- sea bastante baja para que la formación de NOx sea pequeña. En algunos esquemas de combustión adicionalmente se agrega una pequeña cantidad de combustible con bajo contenido de nitrógeno, como el metano, si el combustible primario es de alto nitrógeno.

En este esquema también se encuentran los *quemadores de NOx bajos* que producen la combustión en dos etapas y se instalan en los hogares grandes de las calderas.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficiencias típicas del uso del control de la combustión dependen de los esquemas de combustión y de la combinación de estos, en la literatura se reportan porcentajes que van desde el 15 al 77% de las emisiones. Los quemadores de bajo NOx pueden reducir las emisiones de NOx de un 40 a 65%

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Las calderas de las plantas termoeléctricas producen emisiones de NOx. Además, también se añaden emisiones sustanciales provenientes de las calderas industriales, incineradores, turbinas de gas, motores estacionarios de diesel y de encendido por chispa, fábricas de hierro y acero, manufactura de cemento, manufactura de vidrio y refinerías de petróleo.

VENTAJAS

Las ventajas de la modificación de los procesos de combustión son:

1. La modificación de las condiciones de combustión en los procesos resultan relativamente baratas comparadas con la implementación de equipo.
2. Los quemadores de bajo NOx son tecnología con costos superiores a los anteriores.

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. Reducción de la eficiencia de combustión.
2. La combustión en dos etapas requiere un hogar más grande, para la misma velocidad de combustión u otra opción es reducir la velocidad de alimentación de combustible de un hogar, si se aplica a un hogar ya existente. Es difícil lograr que se quemara por completo el combustible en la segunda etapa, de modo que se incrementa la cantidad de combustible no quemado, o de monóxido de carbono, o de ambos en el gas de escape.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Tratamiento químico de gases de combustión

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

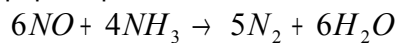
El interés principal respecto a la contaminación del aire en zonas urbanas se centra en los dos óxidos más comunes: el *óxido nítrico (NO)*, y el *bióxido de nitrógeno (NO₂)*, aun cuando el nitrógeno forma ocho diferentes óxidos, denominados en general, NOx. En recientes años ha aumentado el interés en la reducción de las emisiones del óxido nitroso (N₂O), por su contribución a los gases de efecto invernadero.

Los óxidos de nitrógeno encontrados en los gases producidos por combustión, se clasifican en óxidos de nitrógeno térmicos, inmediatos y del combustible.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Tratar los gases de combustión químicamente, después de la llama, para convertir los NOx en N₂. Para tal efecto se agrega un agente reductor a la corriente de gas con el fin de quitar el oxígeno del NOx.

Para las plantas generadoras de electricidad y otros hogares grandes, se utilizan diversos agentes reductores, de los cuales el más popular parece ser el amoníaco. La reacción deseada es:



Las reacciones se pueden llevar a cabo sobre un catalizador de zeolita a más o menos 370°C (700°F), o bien en la corriente de gas, en la parte del hogar en donde la temperatura se encuentra entre 870°C y 1000°C (1600 y 1800°F)

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las eficiencias típicas de recuperación del 95 al 99%.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

Las calderas de las plantas termoeléctricas producen emisiones de NOx. Además, también se añaden emisiones sustanciales provenientes de las calderas industriales, incineradores, turbinas de gas, motores estacionarios de diesel y de encendido por chispa, fábricas de hierro y acero, manufactura de cemento, manufactura de vidrio, refinerías de petróleo.

VENTAJAS

Las ventajas del tratamiento químico de los gases de combustión son:

1. Alta remoción de NOx

DESVENTAJAS

Las desventajas principales son:

1. Inversión inicial alta
2. Altos costos de operación
3. Problemas con la disposición final del catalizador
4. Aumento en la caída de presión
5. Puede requerir enjuague con agua

Medidas preventivas

Existen cuatro métodos o alternativas posibles, que se podrán utilizar para reducir las emisiones de bióxido de azufre a partir del consumo de combustibles fósiles.

- Cambio a un combustible con bajo contenido de azufre
 - Gas natural
 - Gas licuado de petróleo
 - Petróleo con bajo contenido de azufre
 - Carbón con bajo contenido de azufre
- Uso de carbón y petróleo desulfurados

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Extracción de SO₂ de los gases ricos de desecho

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se aplican a las concentraciones de bióxido de azufre (SO₂) en los gases de escape de la fundición de minerales de sulfuros metálicos. La producción de SO₂ depende de cuál proceso se aplique y varía con el momento dentro del ciclo de fundición. Sin embargo, en general un gas de desecho rico en azufre va desde 2 % hasta 12 % de SO₂. Esos gases se pueden tratar económicamente en las plantas que producen ácido sulfúrico.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

En general, a las plantas que producen grandes cantidades de SO₂, se les adapta un segundo paso de reacción y absorción, es decir, dos plantas en serie. A estas plantas se les conoce como de doble contacto o de doble absorción. El gas que proviene de la fundidora o del quemador de azufre, se introduce a un eliminador de polvo y de agua. Posteriormente, se introduce la corriente en un equipo con lechos de catalizador, generalmente de vanadio, con enfriadores intercalados. En esta etapa en donde se realiza la oxidación de SO₂ a SO₃. Finalmente la corriente que transporta el SO₃, se introduce dentro de una torre empacada de absorción. El gas entra por debajo y se introduce agua por arriba, cuando el SO₃ y el agua se ponen en contacto se produce el ácido sulfúrico que se acumula en fondo de la torre y el gas de desecho que se obtiene contiene aproximadamente hasta el 3% de SO₂ a la entrada. En el caso de doble absorción, se adiciona otra etapa de reacción y absorción en la cual se obtiene menos del 0.3% de SO₂.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Tipicamente, pueden convertir más el 99.7% del SO₂ entrante en H₂SO₄, usando la doble absorción.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

La principal fuente industrial son las fundidoras de metales no ferrosos. Principalmente la industria del cobre, del plomo, de cadmio, de zinc, etc.

VENTAJAS

1. La absorción es muy rápida y simple.
2. No hay necesidad de regenerar el líquido absorbente porque la solución del SO_3 y el agua producen ácido sulfúrico, que es un producto vendible.
3. Transformación del SO_2 a un H_2SO_4 , que se usa como materia prima para la producción de fertilizantes de fosfato.
4. Las plantas en las que se tratan gases con más del 4 % de SO_2 son auto térmicas, lo que significa que el calor de reacción proporciona todo el calor necesario para el proceso.

DESVENTAJAS

1. Alto costo de inversión
2. En la mayoría de los casos no resulta rentable, es decir, los costos de producción sobrepasan las utilidades de la venta de H_2SO_4 . A menos que el porcentaje de SO_2 sea mayor del 4 % en los gases de salida entonces es posible tener una ganancia.
3. Debido a la necesidad de disminuir las emisiones a la atmósfera de SO_2 diluido, la tendencia entre los dueños de la industria de la fundición ha sido: modificar los procesos de fundición para eliminar o minimizar la producción de gases pobres en SO_2 , en lugar, de tratar los gases diluidos mediante los métodos para gases pobres.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Procesos en húmedo

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se aplican al control de bióxido de azufre (SO_2), contenido en los gases de combustión, con una concentración aproximada de 0.1%, o sea, 1000 ppm¹. El azufre es un componente de todos los petróleos y carbones naturales, con una composición que varía del 0.1 a más del 5 por ciento. Cuando se queman estos combustibles se genera una emisión de SO_2 que varía considerablemente con la naturaleza u origen de los combustibles fósiles.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

La comparación de los principales procesos para la remoción de SO_2 de los gases de la chimenea aparecen en la siguiente tabla, y se dividen en dos clases: desechable y regenerativos siendo ambos procesos de depuración húmeda. Como el SO_2 es un gas ácido, casi todos los procesos de depuración utilizan una solución acuosa o una lechada de un material alcalino.

ORIGEN DEL PROCESO	OPERACIONES DE PROCESO	MATERIAL ACTIVO	PRODUCTO PRINCIPAL DE AZUFRE
<i>Procesos de depuración desechable</i>			
1. Cal o caliza	Depuración con lechada	CaO , CaCO_3	CaSO_3 / CaSO_4
2. Sodio	Solución de Na_2SO_3	Na_2SO_3	Na_2SO_4
3. Doble álcali	Solución de Na_2SO_3 , regenerada con CaO ó CaCO_3	CaCO_3 / Na_2SO_3 ó CaO / NaOH	CaSO_3 / CaSO_4
4. Cal / caliza, promovida con magnesio	Solución de MgSO_3 , regenerada con CaO ó CaCO_3 .	MgO / MgSO_4	CaSO_3 / CaSO_4
<i>Proceso de depuración con regeneración</i>			
1. Oxido de magnesio	Lechada de Mg(OH)_2	MgO	15% de SO_2
2. sodio	Solución de Na_2SO_3	Na_2SO_3	90% de SO_2
3. Citrato	Solución de citrato de sodio	H_2S	Azufre
4. Amoniaco	Solución de amoniaco	NH_4OH	Azufre (99.9%)

¹ ppm= es la relación entre un volumen de contaminante entre un millón de volúmenes de aire.

El término depuración húmeda implica simplemente que el SO_2 sale del equipo de absorción en una solución o lechada y que es necesario un tratamiento adicional a fin de que el azufre pueda terminar en una operación adecuada de terraplenado o en alguna forma de productos con valor comercial.

En general, los diseños desechables se deshacen del azufre eliminando en alguna forma de lodo residual del tipo de calcio. En cambio, el producto de los diseños regenerativos es azufre y ácido sulfúrico, y la solución alcalina se recircula.

El dispositivo de uso más amplio, es el lavador en húmedo con piedra caliza. En la primera etapa al gas de combustión se le quitan las partículas sólidas de ceniza volátil (ver, secciones anteriores), inmediatamente pasa a una torre en donde entra a contracorriente con una pasta aguada lavadora que contiene agua y partículas de piedra caliza (así como partículas de otras sales de calcio). En la torre el SO_2 se disuelve en la pasta aguada y reacciona con la piedra caliza (y con las otras sales de calcio, disueltas o suspendidas), con lo que se produce CO_2 , el cual entra a la corriente de gas y el sulfito de calcio sólido, CaSO_3 . Este último se oxida casi por completo hasta sulfato de calcio CaSO_4 , parcialmente por el exceso de oxígeno en los gases de combustión que entran a la torre, parte en el tanque de retención del efluente, o en el espesador, o en el recipiente adicional de oxidación, rociado con aire

La pasta aguada se recircula desde el tanque de retención. Una corriente lateral se lleva hacia un espesador (también conocido como sedimentador) y se filtra para extraer los sólidos. Al final, el SO_2 capturado debe salir del sistema como CaSO_3 ó CaSO_4 en este sólido de desecho.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las reducciones alcanzadas con esta tecnología van desde el 95 al 99% de eliminación de SO_2 de la corriente de desecho.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

La principal fuente de SO_2 , excepto fundidoras, la constituyen las chimeneas de las grandes instalaciones en las que se quema carbón mineral o combustóleo. La mayor parte de emisiones de SO_2 provienen de las plantas generadores de energía eléctrica que queman carbón.

VENTAJAS

1. En los diseños regenerativos, se necesita poca solución alcalina de reposición.
2. Los procesos desechables se puede usar frecuentemente para eliminar también partículas (cenizas finas), si se emplea el sistema para remover partículas.

DESVENTAJAS

1. En los diseños desechables, la reposición requerida del álcali es considerable.
2. En los procesos regenerativos, se deberá adicionar un equipo colector de partículas antes del equipo de remoción de SO_2 , debido a que las partículas no son aceptables en su operación.
3. Depósito de sólidos, incrustación y taponamiento. Los sulfatos de calcio y sus productos químicos cercanos son ligeramente solubles en agua y pueden precipitarse sobre las superficies sólidas, para formar incrustaciones duras y durables que son muy difíciles de quitar.

NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA

Procesos en seco

CONTAMINANTES A LOS QUE SE APLICA

Se aplican al control de bióxido de azufre (SO₂), contenido en los gases de combustión, con una concentración aproximada de 0.1%, o sea, 1000 ppm². El azufre es un componente de todos los petróleos y carbones naturales, con una composición que varía del 0.1 a más del 5 por ciento. Cuando se queman estos combustibles se genera una emisión de SO₂ que varía considerablemente con la naturaleza u origen de los combustibles fósiles.

PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN

Estos procesos surgen como una alternativa a los procesos de depuración húmeda. La comparación de los principales procesos de remoción en seco para la remoción de SO₂ de los gases de las chimeneas se muestra en la siguiente tabla.

ORIGEN DEL PROCESO	OPERACIONES DE PROCESO	MATERIAL ACTIVO	PRODUCTO PRINCIPAL DE AZUFRE
<i>Procesos en seco</i>			
1. Inyección de caliza seca	Absorción de 760° a 1100° C	CaO, CaCO ₃ molida y calcinada	CaSO ₃ / CaSO ₄
2. Adsorción por carbón	Adsorción a 127° C, reacción con H ₂ S a S, reacción con H ₂ a H ₂ S	Carbón activado / H ₂	Azufre
3. Secador por aspersión	Absorción con soluciones de carbonato o de cal apagada	Na ₂ CO ₃ / Ca(OH) ₂	Na ₂ SO ₄ / Na ₂ SO ₃ CaSO ₃ / CaSO ₄

Como en la depuración húmeda, se remueve el SO₂, poniéndolo en contacto con una solución absorbente adecuada o una sustancia adsorbente adecuada. En el caso de la depuración en seco la solución es bombeada a atomizadores que crean un rocío de gotas muy finas. Las gotas se mezclan con el gas entrante procedente de la combustión en una cámara muy grande y la

² ppm= es la relación de un volumen de contaminante entre un millón de volúmenes de aire.

absorción subsiguiente conduce a la formación de sulfitos y sulfatos dentro de las gotas. De manera casi simultánea, el calor sensible del gas de la combustión evapora el agua de la gota. Por tanto se forma un polvo seco antes de que el gas salga del secador de aspersión.

Otro punto importante que se tiene que considerar en la depuración en seco es que las cenizas finas que se encuentran en el gas de la combustión no son eliminadas antes de entrar al secador por aspersión. Por consiguiente se podrán utilizar sistemas convencionales de remoción de partículas después del absorbedor para completar el proceso global. El uso de una casa de filtros de tela en lugar de un precipitador electrostático resultará ventajoso en términos de la remoción de SO_2 , la adsorción por carbón vegetal es otro método para la desulfuración del gas de la combustión.

REDUCCIONES DE EMISIONES ALCANZADAS

Las reducciones alcanzadas con esta tecnología van desde el 95 al 99% de eliminación de SO_2 de la corriente de desecho.

APLICACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS

La principal fuente de SO_2 , excepto fundidoreas cercanas, la constituyen las chimeneas de las grandes instalaciones en las que se quema carbón mineral o combustóleo. La mayor parte de las más grandes son plantas generadores de energía eléctrica en las que se quema carbón.

VENTAJAS

1. Se necesita de muchos menos equipos con la conveniente reducción de los costos de mantenimiento y operación, comparada con muchos procesos de depuración húmeda
2. Es posible recoger simultáneamente tanto las cenizas finas como el material residual, los que no es posible con algunos procesos de depuración húmeda.
3. Los equipos de depuración en seco, producen menos corrosión e incrustaciones en los equipos y tuberías del proceso.
4. El producto de desecho es más fácil de manejar y de disponer.

DESVENTAJAS

1. Se requiere la inversión de equipos adicionales (aspersores).
2. Es necesario tomar en cuenta los volúmenes de desecho del proceso, para programar su disposición final.

GLOSARIO

Óxidos de nitrógeno térmicos

Son los más significativos, se forman por el simple calentamiento del oxígeno y del nitrógeno, en una llama o por algún otro calentamiento externo, por ejemplo, en el relámpago en un rayo.

Óxidos de nitrógeno inmediatos

El término inmediatos se refiere a los óxidos de nitrógeno que se forman con mucha rapidez, como resultado de la interacción del nitrógeno y del oxígeno con algunas de las especies activas del carbono obtenidas a partir del combustible en las llamas.

Óxidos de nitrógeno del combustible

El óxido de nitrógeno del combustible se forma por la conversión de algo del nitrógeno, presente originalmente en el combustible, en NOx. El carbón mineral y algunos combustibles del petróleo de elevado punto de ebullición contienen cantidades significativas de nitrógeno orgánico.

Hogares

Se le denomina hogar al sitio en donde se lleva a cabo la combustión de las calderas, también llamada cámara de combustión.