

Índice y capítulo demo del e-book Seguridad y Saneamiento Industrial

# INDICE

## **CAPITULO 1.....9** **INTRODUCCIÓN**

**La Seguridad Industrial confiable y eficiente como mejora continua** para minimizar y/o anular riesgos de accidentes, en un proceso donde interactúan factores peligrosos que pueden atentar contra la integridad física de las personas como de los activos.

El Saneamiento Industrial Confiable y eficiente como mejora continua para minimizar y/o anular riesgos de contaminación por inconvenientes en un proceso que produce residuos sólidos, líquidos contaminantes de la tierra y del agua, como así las emisiones gaseosas al aire.

- a) Ventajas del Técnico que aplica la Seguridad y el saneamiento Industrial
- b) Objetivos de la Seguridad y del Saneamiento Industrial en las Industrias de Procesos y en la centrales Térmicas

## **CAPITULO 2.....10**

### **Contexto Operacional: CONOCIMIENTO PREVIO SOBRE OPERACIÓN DE PLANTAS INDUSTRIALES PARA EL ABORDAJE DE LA SEGURIDAD Y EL SANEAMIENTO**

Pagina web [www.managingfactory.com](http://www.managingfactory.com) y campo online [www.m-factory-online.com.ar](http://www.m-factory-online.com.ar)

El conocimiento de la Operación de la Planta Industrial mediante la aplicación operativa de una industria de Proceso genérico, típico desde lo experiencial, nos permitirá abordar luego, la deducción de las causales y proceder a desarrollar las medidas de acción directas en pos de lograr la resolución de problemas, tanto para la Seguridad como para el Saneamiento Industrial

- a) Representación esquemática del proceso
- b) Captación y tratamiento de agua para proceso industrial y para generación de vapor
- c) Proceso del sistema de Alimentación de agua para calderas
- d) Proceso del Ciclo Agua Vapor
- e) Manejo de Combustibles y Combustión; combustión del Gas Natural, Combustión del Fuel oil, Combustión de Carbón pulverizado, Combustión de Celulósicos, Combustión del Residuo Vinaza.
- f) Secuencia de operación de calderas de alta presión en industrias y centrales; Reconocimiento de las partes componentes de la Caldera, Puesta en Marcha, Puesta a Punto, Mantenimiento en pleno régimen de producción de vapor, Control del proceso, Puesta fuera de Servicio de la unidad térmica.
- g) Operación de Turbinas a Vapor: Proceso de la puesta en marcha y la puesta a punto.
- h) Operación de la Turbina a Gas: Esquema de Turbina a Gas básico – Partes Componentes – Puesta en Marcha y puesta a punto; Tipos de arranque; Arranque en frío, Arranque templado, Arranque caliente, Arranque superfrío, Rearranque – Fases del Arranque – Problemas durante el arranque – Consejos útiles – Esquema del Turbogás Generador de Energía

- Fallas en la casa de filtros – Fallas en Álabes – Fallas en Cámara de combustión – Fallas en el rotor – Fallas en la carcasa – Fallas en cojinetes
- Fallas de control y de la instrumentación – Normas de seguridad para aplicaciones de turbinas a gas –
- i) Generadores de Energía y sistemas de protección para el uso del Hidrogeno, cuidados para no generar atmósferas explosivas en el sistema de enfriamiento con Hidrogeno del Generador de Energía, Cambio de Hidrogeno por CO<sub>2</sub>, Anormalidad del secado de Gas, Alta temperatura del Aceite de Sello del lado de aire y sello del lado de Hidrogeno, Operación del sistema de aceite de sellar,
- j) Conocimiento del Condensador, Reciclo del Condensado al Sistema de Alimentación,
- k) Conocimiento de algunas instalaciones industriales típicas; Concentración por Evaporación, Cristalización, Filtrado con Filtros Rotativos, Polimerización
- l) Medición y Control de los Procesos; Caudal, Presión, Temperatura, Variables de Carga, Variable Manipulada y controlada, Esquema de medición y transmisión de datos, Esquema básico de control en un condensador

### **CAPITULO 3 .....89**

#### **TRATAMIENTO DE EFLUENTES: INDUSTRIALES**

##### Uso de Reactivos e Inhibidores

- a) consideraciones Básicas para el Tratamiento de Efluentes.
- b) La Compensación de Flujo.
- c) La Neutralización
- d) La Eliminación de Aceites y Grasas.
- e) Tratamiento de residuos aceitosos segregados
- f) Rompimiento químico de emulsiones, Desnatado
- g) La Eliminación de Sólidos Suspendidos
- h) Remoción de Metales
- i) Remoción de Compuestos Orgánicos Volátiles
- j) Oxidación Química
- k) Desechos Químicos en el tratamiento de Agua y su Recuperación para reutilizarse.
- l) Parámetro Biológicos

### **CAPITULO 4.....101**

#### **• MANEJO DE RIESGO DE SUSTANCIAS TOXICAS Y RESIDUOS PELIGROSOS USADOS EN LA INDUSTRIA**

Métodos aplicables a la detección de riesgos para generar alertas de seguridad y de riesgos ambientales peligrosos.

- a) Nomina de las Sustancias más frecuentes de encontrar
- b) Factores de Exposición
- c) Métodos para el control
- d) Efecto de Sustancias toxicas en el Cuerpo Humano
- e) Definiciones y Residuos Peligrosos

- f) Clasificación de los residuos peligrosos: Tablas del tipo de residuos generados por industrias - Residuos inorgánicos – residuos orgánicos, Bifenilos y PCBs, pinturas, resinas, pesticidas, residuos putrefactos, de alto volumen de peligrosidad, misceláneos – Análisis de toxicidad – Gestión y control de residuos peligrosos, Minimización – tratamiento y disposición de residuos peligrosos, tecnologías que se usan – Reactividad química de sustancias peligrosas.
- g) El Riesgo de los Ácidos (noción de cada uno de los tipos de ácidos conocidos)

## **CAPITULO 5.....127**

### **ANALISIS DE COSTOS DE ALGUNAS IMPLEMENTACIONES**

- a) La Incineración para tratar Gases Tóxicos
- b) Esquema operativo de un oxidador térmico básico
- c) Esquema operativo de un oxidador térmico con un intercambiador de calor
- d) Censado Óptico para Monitoreo de Aire
- e) Operación de la Espectroscopia de Camino Abierto
- f) Comparativa de costo para control VOC
- g) Censado óptico para monitoreo de aire
- h) Operación de espectroscopía de camino abierto
- i) Esquema del espectrómetro de configuración monoestática

## **CAPITULO 6.....142**

### **SEGURIDAD EN LA INDUSTRIA**

- a) Introducción
- b) Conceptos de riesgo
- c) Aspectos generales de riesgo
- d) Procedimientos y pautas generales
- e) Cuadros de clasificación de riesgos de las Empresas
- f) Esquema de frecuencia y gravedad del riesgo, Incertidumbre
- g) Seguridad en el manejo de los procesos productivos industriales
- h) El uso de lo que se dispone
- i) La cultura Empresaria y sus errores
- j) Válvulas de Seguridad – Esquema de Válvula de seguridad – Causas de sobrepresión más probables – Preguntas y respuestas sobre seguridad de calderas – Porqué explotan las calderas?
- k) Derrame y contención de sustancia peligrosas
- l) Uso de Espumas
- m) Fuga y contención de derrames líquidos de materiales peligrosos – Uso de espumas – Métodos sugeridos para contención de derrames en tierra y en agua – usos de espumas para suprimir derrames – característica de las espumas.
- n) Seguridad en Atmósferas explosiva – Lugares con presencia de gases y vapores inflamables – Polvo combustible – detalle de riesgos de sufrir explosiones e incendios de las principales industrias.
- o) Seguridad en sistemas de combustión de calderas ( Fuel Oil Petróleo, Gas Natural , Sólidos Carbón y Celulósicos )

- p) Riesgo Eléctrico Industrial
- q) Efecto Triboeléctrico en ambientes explosivos
- r) Seguridad en Sala de Maquinas, Riesgos en el Generador de Energía y recaudos en el uso de Hidrogeno refrigerante
- s) Seguridad en equipos de izaje de la industria: Riesgos en equipos de izaje de la fábrica. – Seguridad en accesorios de elementos de izaje

## **CAPITULO 7.....188**

### **METODOS PARA EL SANEAMIENTO INDUSTRIAL**

- a) Sistema de Fangos Activados para la oxidación de materias orgánicas
- b) Aireación con Sistema mecánico
- c) Aireación con agitación aeróbica
- d) Filtración con Filtros Rotativos
- e) Filtros prensa
- f) Evaporación de Efluentes líquidos
- g) Centrifugación para Materias Orgánicas
- h) Saneamiento con Osmosis Inversa
- i) Eliminación Spray por Atomización de Soluciones, Suspensiones y Emulsiones con alto DBO y DQO
- j) Saneamiento en Plantas Industriales de Electro deposición
- k) Auxiliares para el Transporte de Fluidos Residuales
- l) Clasificación de los Métodos según el tipo de Industria, las Características de sus Aguas Residuales y Alternativas para su Pretratamiento.
- m) Limpiezas Técnicas

## **CAPITULO 8.....199**

### **EMISIONES GASEOSAS A LA ATMOSFERA**

- A) Separación de Polvos Contaminantes Atmosféricos y Depuración de Gases antes de ser expulsados desde la chimenea a la atmosfera.
- B) Los filtros para atenuar emisiones gaseosas.
- C) Oxidación térmica regenerativa – Oxidación térmica recuperativa – Oxidación catalítica – roto concentración con Zeolitas – Scrubbers y torre de lavado – Reducción Catalítica selectiva
- D) Esquema típico del muestreo de chimeneas
- E) Emisiones propias de las calderas
- F) Filtros de Manga
- G) Esquema del precipitador electrostático – Retención de partículas debido al campo electrostático – control de emisiones de la combustión – Controles NOx – Remoción CO2 – Remoción fluoruros, HF y trazas de SO2 - Esquema de proceso inyección en seco – Esquema de proceso de rocío (secador atomizador) – (lavado scrubber)
- H) Sistema de control para emisiones de partículas de efluentes puntuales.
- I) Filtros de telas y Scrubber venturi

## **CAPITULO 9.....214**

### **TRATAMIENTO Y RECUPERACION DE DESECHOS INDUSTRIALES**

### **TRATAMIENTO DE VINAZAS RESIDUALES EN DESTILERIAS DE ALCOHOL**

- a) Esquema de Concentración de Vinaza a menos de 60 °Brix para ser aplicado como combustible de bajo poder calorífico en quemadores e calderas
- b) Evaporación y concentración de vinaza
- c) Planta de concentración por evaporación
- d) Resumen económico de la concentración
- e) Requerimientos de vapor de escape, de calefacción o de contrapresión – re compresión térmica de vapores vegetales – re compresión mecánica de vapores vegetales – Datos de diseño y consumo – Concentrado – Condensador – datos de Energía y consumo – Agua de enfriamiento requerida – Energía eléctrica – aire para sistema de control.
- f) Detalle del evaporador Flubex
- g) Osmosis inversa para la concentración de vinaza con platos tubulares de Rochem
- h) Combinación de métodos.

## **CAPITULO 10.....224**

### **TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE BARROS ACTIVADOS Y BIOAUMENTACION**

- a) Degradación de materia orgánica residual con bacterias
- b) Un decálogo para tener en cuenta: Componentes de los barros activados. bacterias – condiciones para instalar bacterias – Disminución de la carga orgánica – variables – problemas y soluciones – estrategia – esquema de fangos activados.
- c) Bioaumentación: Resultados del uso – Remoción mejorada de DBO – Mejora en precipitación de sólidos – Degradación de Compuestos específicos – Mejora en la Nitrificación

## **CAPITULO 11.....229**

### **SEGURIDAD Y SANEAMIENTO EN LOS PROCESOS OPERATIVOS DE ALGUNAS PLANTAS INDUSTRIALES**

Nota sobre el capítulo

- A) Seguridad en los procesos de la industria Cervecera  
Ligero conocimiento sobre el proceso para deducir causales de riesgos – Seguridad de práctica en el manipuleo de productos para el tratamiento de agua – Otros aspectos generales – Indagación analítica en la seguridad de elaboración de bebidas ( modo de ejemplo en una fábrica de cerveza ) - esquema de proceso para deducir causales de riesgos a partir del conocimiento de la operación del proceso productivo, seguridad y saneamiento.
- B) Seguridad y saneamiento en planta industrial de bioetanol Anhidro a partir de la melaza:  
Reconocimiento de las instalaciones y partes componentes de la planta, esquema operativo - secuencia de la operación: puesta en marcha - puesta a punto - mantenimiento – control del proceso – control de riesgos y saneamiento – Detección de vapores de alcohol por monitoreo – emisiones en la producción de alcohol: benceno, detección por monitoreo, hexano: prevención.
- C) Seguridad y saneamiento en la refinación del petróleo:

Emisiones al aire – Venteo y quema en antorcha – Aguas residuales – Materiales peligrosos – Residuos - Ruido – Higiene y seguridad ocupacional – Peligros químicos – Peligros graves – Indicadores de desempeño – Riesgos y saneamiento en la refinación de derivados de petróleo (esquema de proceso básico para reformar gasolinas y aceites lubricantes con eliminación de azufre y resinas).

D) Seguridad y saneamiento en planta industrial de celulosa:

Representación de modelos de plantas industriales de celulosa.-

Seguridad industrial - El olor (emisiones) – esquema de planta industrial de celulosa – Problemas con agentes blanqueadores – Vertidos y contaminación del agua.

E) Saneamiento Industrial Ideal: esquema de control, emisión, tratamiento y almacenamiento del CO<sub>2</sub> de Managing Factory

## PRESENTACION DE UN CAPITULO DEMOSTRATIVO

### CAPITULO 8

#### EMISIONES GASEOSAS A LA ATMOSFERA

##### **Separación de polvos contaminantes atmosféricos**

La separación de polvos contaminantes del medio ambiente que arrastran los gases de la combustión, deben ser una prioridad para evitar la contaminación del medio atmosférico, con el objeto de disminuir la polución ambiental.

Los combustibles sólidos como carbón en polvo, desperdicios de cosechas y combustibles líquidos, como el fuel oil, requieren de una eficiente combustión en la relación mezcla - aire – combustible, para disminuir la proporción de inquemados; tanto en industrias como en centrales térmicas.

En el caso del fuel Oil, en el gas resultante de la combustión existen partículas que no alcanzaron a completar la combustión, estas partículas se denominan “Cenósferas”, como residuo carbonoso sólido, producto de la transformación de las gotas de fuel oil que son proyectadas por los atomizadores de los quemadores en el interior de la flama, cuya formación es debido a problemas de presión de atomización.

La cenósfera la constituye un residuo carbonoso, algunos aditivos del fuel oil, como el Magnesio; Azufre, Hierro y Vanadio.

El contenido de azufre en el fuel oil, se transforma en la combustión como SO<sub>2</sub> (Anhídrido Sulfuroso), y también a partir de este SO<sub>2</sub> que se oxida en la relación química de la combustión formando SO<sub>3</sub> (Anhídrido Sulfúrico).

El NOX (Oxido de Nitrógeno) producido por el propio nitrógeno del aire y del mismo combustible, son elementos que obviamente requieren de un análisis y de una



eficiente operación y mantenimiento para atenuar el impacto ambiental con menos o nada de contaminación.

El gas que ingresa atraviesa los electrodos de rociado, donde las partículas se cargan con igual signo y son repelidas hacia la pared metálica que está conectada a tierra.

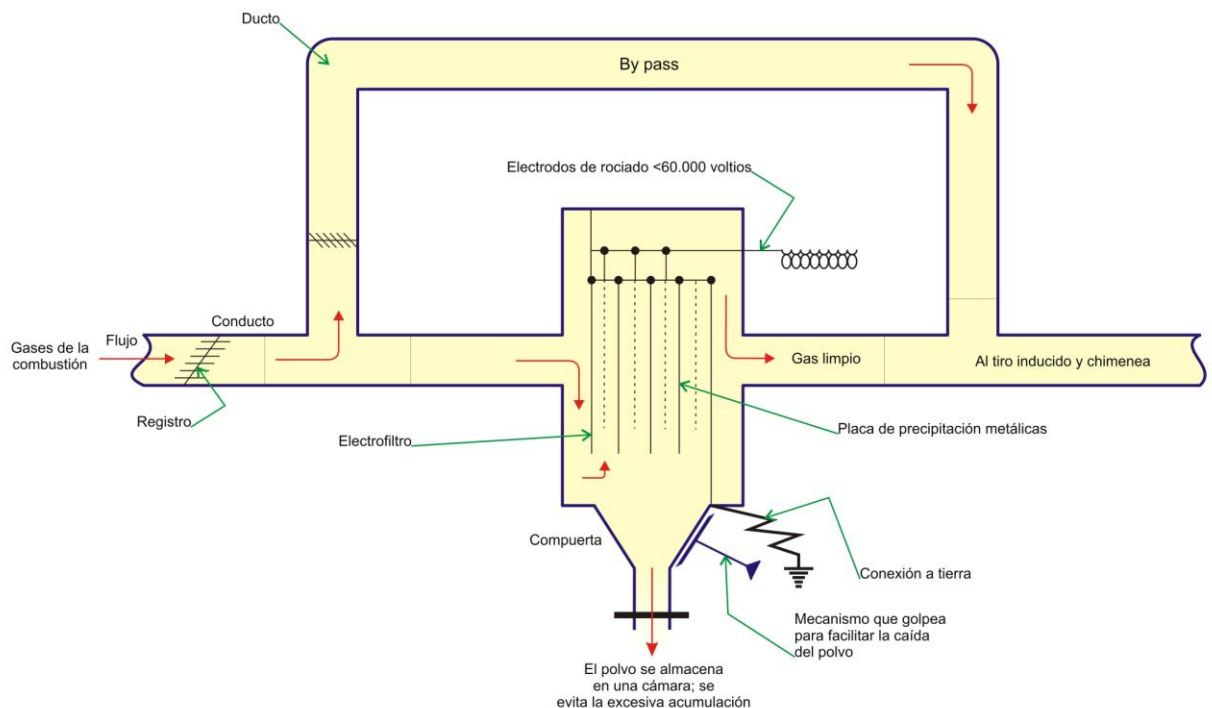
El método de ciclón, también se utiliza, pero no es tan efectivo como el Electrostático. También el método mecánico de tamiz y sacos filtrantes, son aún menos efectivos que éste.

En la operación se tiene en cuenta el perfecto aislamiento de los elementos eléctricos y los efectos de la dilatación térmica, como así también, el cierre hermético de la instalación.

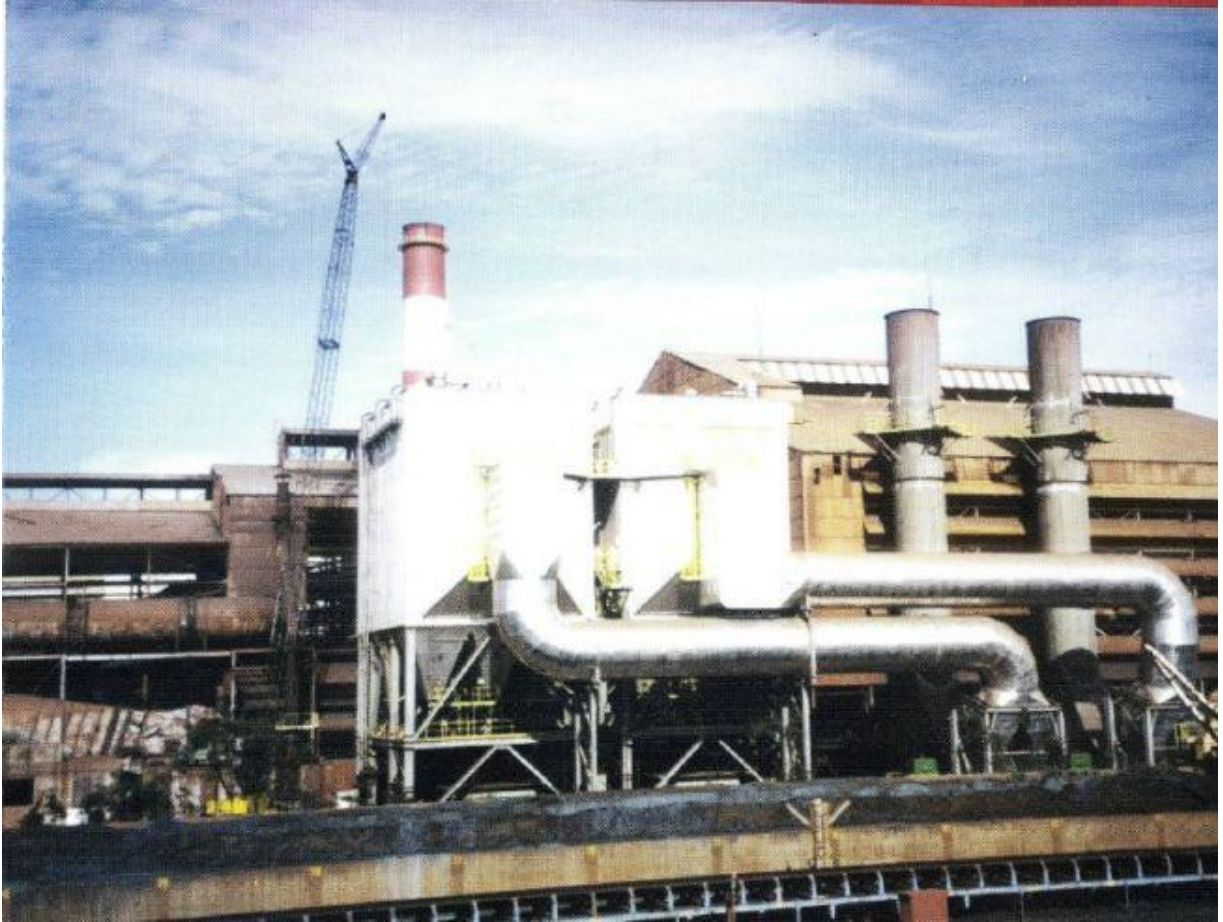
También el funcionamiento de los transformadores de energía, rectificadores y demás auxiliares del control del proceso de separación. Los gases de la combustión a baja temperatura, pueden condensar humedad que provocará acumulación de capas de polvo, en este caso y cuando se opera por debajo del pleno régimen o períodos de parada, se usa el by pass.

Las condiciones de la combustión al momento del soplado de hollín en calderas, debido a que se tiene que ajustar el Tiro Inducido.

### Método electrostático para desempolvado de gases







## LOS FILTROS PARA ATENUAR LAS EMISIONES GASEOSAS

Los filtros para chimeneas industriales tienen ciertas ventajas para atenuar las emisiones gaseosas, pero al mismo tiempo presentan algunas desventajas. Dentro de las principales ventajas, debemos decir que los filtros poseen elevada eficiencia en la reducción del flujo de gases. Otra de las ventajas radica en la cantidad de marcas y modelos que existen siendo muchos de ellos de máxima potencia y capaces de remover y disminuir el nivel de contaminación en el ambiente. Dentro de las desventajas que podemos destacar encontramos que los precios tienden a ser elevados, al tratarse de un elemento de máxima importancia. En lo que respecta a la colocación de los mismos, muchas veces requieren de sistemas de complejos.



Esta claro que hay actividades donde los mismos se vuelven más indispensables como puede ser el caso de las industrias de la alimentación. En estos casos es vital que se produzca constante humo y olores que tienen que ser expulsados, ya que de lo contrario se haría muy dificultoso e imposible trabajar.



### Oxidación térmica regenerativa

La **oxidación térmica regenerativa** es una tecnología destructiva para la depuración de COV's que oxida los compuestos orgánicos en una cámara con quemador, transformándolos en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Se caracteriza por la presencia de unas torres rellenas de un material cerámico que retiene y cede el calor de la combustión del aire tratado durante los sucesivos ciclos del proceso. Con estas torres se consigue una eficiencia de recuperación térmica superior al 95%.

La temperatura de combustión en la cámara es de unos 750 °C.

Se puede aplicar para caudales muy variados, entre 2.000 y 150.000 Nm<sup>3</sup>/h, con concentraciones de COV's que van desde 0,3 a 10 g/Nm<sup>3</sup>.

Algunos tipos habituales de equipos son:

- Dos cámaras (con o sin cámara de compensación)
- Tres cámaras
- Más de 3 cámaras para elevados flujos a tratar

Los equipos con 3 cámaras se suelen utilizar en aquellos casos en los que se necesita una carga continua sin perder capacidad de tratamiento, y también en destrucción térmica de disolventes halogenados.



### Oxidación térmica recuperativa

La **oxidación térmica recuperativa** requiere de unos costes de inversión menores que la regenerativa pero tiene un coste de gestión superior, derivados de un mayor consumo de combustible.

Consiste en una cámara de combustión con un quemador y con un intercambiador de calor en el que el aire de entrada se precalienta con el aire de salida. Permiten conseguir una eficiencia de recuperación térmica del orden del 65%. Las temperaturas de trabajo pueden ser hasta 1450 °C.

Puesto que es necesario llevar los gases del proceso a una temperatura tan elevada, las plantas de oxidación conllevan el consumo de combustible de ayuda. Por esta razón es muy interesante poder recuperar siempre que sea posible, tanto el calor aportado como el calor producido en la oxidación.

Las plantas de oxidación recuperativa poseen un recuperador que utiliza la salida de gases calientes de la oxidación provenientes del compartimento de combustión, para precalentar la entrada del aire a tratar.

Es una opción interesante cuando el caudal de aire es bajo y la concentración de COV's elevada.

### **Oxidación catalítica**

La **oxidación catalítica** es una tecnología destructiva para la depuración de COV's que consigue la combustión a temperaturas más bajas que la térmica gracias a la presencia de un catalizador en la cámara de combustión y de un intercambiador de calor donde se precalienta el aire de entrada con el aire depurado de salida.

Es una tecnología interesante para caudales pequeños con concentraciones entre medias y altas. Hay que tener en cuenta la tipología de los contaminantes presentes en el aire a tratar, pues hay algunos productos que envenan el catalizador y lo inutilizan, obligando a su sustitución.

En este tipo de plantas, la reacción de oxidación se ve favorecida por la presencia del catalizador, que ocurre a una temperatura de entre 300°-350° C, combinándose las ventajas del sistema de regeneración de catalizadores (que permite una recuperación de calor de hasta el 96%), con la posibilidad de trabajar a temperaturas de entre 280°-450° C, lo que permite una reducción de costos operativos.





### Roto concentración con zeolitas

El **rotoconcentrador** no es un proceso de depuración de COV's por si mismo, sino que se trata de un paso previo a la combustión, que se hace necesario cuando se tienen caudales de aire elevados con una concentración de COV's muy baja. En estas condiciones el combustible consumido para la combustión sería muy elevado y se aplica esta tecnología con el fin de reducirlo.

El rotoconcentrador consiste en una "rueda" llena de zeolitas, las cuales absorben los COV's del aire de entrada, teniendo en la salida un aire que ya esta depurado. Una pequeña porción del aire depurado se calienta y se pasa a contracorriente para volver a liberar los COV's retenidos con las zeolitas. De esta forma, se obtiene un caudal de aire 10 veces inferior al inicial con una concentración 10 veces superior. Este es el aire que se envía a la unidad de oxidación para ser depurado.

Las combinaciones más habituales de rotoconcentrador y combustor posterior son:

- rotoconcentrador + combustor térmico regenerativo
- rotoconcentrador + combustor térmico recuperativo
- rotoconcentrador + combustor catalítico

### Scrubbers y torres de lavado

Se trata de sistemas de depuración que se utilizan para la eliminación de partículas y gases generados en procesos industriales. Podemos encontrar dos tipos de scrubbing.

El **lavado por vía húmeda** se utiliza para la separación de partículas sólidas a concentraciones elevadas y acostumbra a llevarse a cabo mediante un venturi

scrubber, en el que las partículas sólidas quedan retenidas en agua. La solución se lleva a cabo normalmente en agua, aunque también se pueden utilizar otro tipo de soluciones con reactivos que atacan específicamente a ciertos compuestos.

El **lavado por vía seca** se utiliza principalmente para eliminar los gases ácidos (como el  $\text{SO}_2$  y  $\text{HCl}$ ), provenientes de fuentes de combustión. Este método aplica un reactivo seco o suspensión a un flujo de escape sucio para lavar los gases ácidos. En algunos casos no se añade humedad, mientras que en otros sólo se añade la cantidad de humedad que puede evaporarse en los gases de combustión, sin condensación.

La filtración en vía seca tiene un coste de inversión más bajo pero para concentraciones elevadas conlleva unos costes de gestión más elevados debido a la alta frecuencia de cambios de filtros y prefiltros.

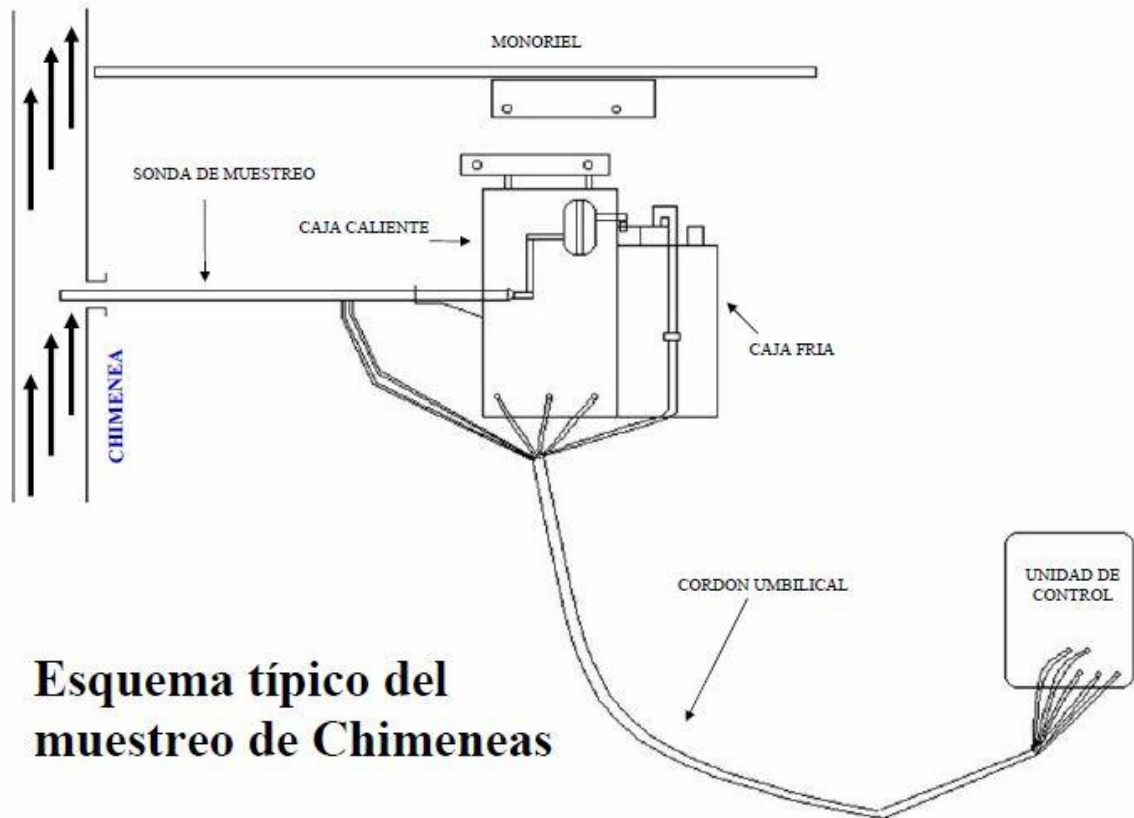


## **REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA**

El proceso SCR está basado en la reducción de los  $\text{NO}_x$  con  $\text{NH}_3$ , en presencia de exceso de  $\text{O}_2$  y un catalizador apropiado, para transformarse en sustancias inocuas tales como agua y nitrógeno de acuerdo a las siguientes reacciones. El amoníaco en forma de hidróxido amónico líquido, es vaporizado, diluido con aire e inyectado directamente en la corriente de gases a tratar a través de un distribuidor.

En el caso de combustibles con alto porcentaje en azufre, durante su combustión se produce también  $\text{SO}_2$  que puede ser catalíticamente oxidado a  $\text{SO}_3$ . La oxidación del  $\text{SO}_3$  puede reaccionar con el agua y el amoníaco no reaccionado para formar ácido sulfúrico y sulfato amónico.

Las sales de sulfato se pueden depositar y acumular sobre el catalizador dando lugar a su desactivación si la temperatura del catalizador no es suficientemente alta, y el ácido sulfúrico formado puede provocar problemas de corrosión aguas abajo en la planta. Por tanto, dependiendo de las condiciones de operación requeridas se debe disponer de un sistema catalítico DeNOx altamente selectivo para reducir los NOx con el NH3 en presencia de O2, evitando todas las reacciones secundarias no deseables.



### EMISIONES PROPIAS DE LAS CALDERAS:

1. Ruidos
2. Efluentes gaseosos
2. Efluentes líquidos
3. Residuos sólidos

### RUIDOS

De los distintos agentes contaminantes, el ruido ha sido con frecuencia ignorado, si bien se encuentra presente en toda actividad humana. Esta situación está cambiando notablemente en los últimos tiempos, como consecuencia de una mayor inquietud por parte de la sociedad y de una mejora en la calidad de vida. La planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa dispone de toda



la tecnología existente que permite la reducción de los niveles de emisión de ruido a un nivel asumible por el entorno.

## **EFLUENTES GASEOSOS**

A continuación se indican las emisiones de los distintos compuestos contaminantes referidos a un 6% de oxígeno en base seca y las medidas que se llevan a cabo para su reducción en aquellos casos en que sea necesario.

**Cenizas volantes:** Los residuos carbonosos del tipo CxHy y los inquemados se ven reducidos en relación a otras centrales gracias a un sistema de postcombustión que permite retenerlos

inquemados y devolverlos al horno para que finalicen su combustión, disminuyéndose así la cantidad de cenizas volantes y aumentándose el rendimiento. Con la instalación de precipitadores electrostáticos se consigue reducir las emisiones de cenizas por debajo de 100 mg/Nm<sub>3</sub>, valor inferior al límite que actualmente está en vigor para este tipo de centrales.

**ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOx):** El valor límite de la emisión NOx para centrales con combustibles sólidos es, de acuerdo con la directiva europea de 650 mg/Nm<sub>3</sub>. Este último valor engloba el NO y el NO<sub>2</sub> expresados como NOx. La concentración estimada de NOx en los gases de escape para este tipo de horno será inferior a 300 mg/Nm<sub>3</sub>, con lo que no es necesario instalar ningún equipo para reducir las emisiones de este tipo de contaminante.

**MONÓXIDO DE CARBONO:** Las emisiones de CO son bajas y se controlan de manera continua para tomar las medidas oportunas que conduzcan a su reducción.

**DIÓXIDO DE AZUFRE:** Dependiendo del contenido de azufre del material empleado como combustible. Si la concentración de SO<sub>2</sub> en los gases de escape es inferior a 200 mg/Nm<sub>3</sub>, no se necesitara ningún tipo de inversión para la instalación de equipos de desulfuración.

## **EFLUENTES LIQUIDOS**

- LOS EFLUENTES LÍQUIDOS MAS IMPORTANTES SON DEBIDOS A:
- LAS PURGAS DE CALDERA
- EL AGUA DE PURGA DE LA TORRE
- EL AGUA SANITARIA
- EL AGUA DE ESCORRENTÍA

## **RESIDUOS SOLIDOS**

**EXISTEN DOS PUNTOS DE RECOGIDA DE RESIDUOS SÓLIDOS:**

1. LOS PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS DONDE SE RECOGEN LAS CENIZAS VOLANTES.
2. EL FONDO DEL HORNO-CALDERA DONDE SE DEPOSITAN LAS ESCORIAS.

**4) Como trabajan los electrofiltros y los lavadores para depurar gases expulsados a la atmosfera?**

## **FILTROS DE MANGAS**

El flujo de los gases de combustión se hacen pasar por una serie de mangas filtrantes fabricadas en diversos tipos de tejidos. Cada cierto tiempo las mangas se limpian aplicando sobre ellas un movimiento de vibración, o mediante pulsos de aire. La composición de las mangas suele variar de un fabricante a otro, pero suelen utilizarse tejidos sintéticos como Nomex, Gortex, Ryton, Hyglass y tejidos en fibra de vidrio con membrana de PTFE. Las ventajas de los materiales sintéticos es su mejor resistencia a la abrasión y resistencia a los ataques ácidos (punto de rocío ácido), mientras que su principal desventaja es su alto precio.

La temperatura de trabajo suele alcanzar los 200°C con puntas de 250°C, y no debe bajar de los 140°C para evitar condensaciones ácidas. Las dimensiones de las mangas varía entre los 130-150 mm de diámetro y longitudes de 3-6 metros. Suelen fabricarse modularmente de manera que dependiendo del caudal de gases de combustión y de concentración

de partículas se dimensiona de un tamaño u otro. Para descargar de trabajo al filtro y aumentar su vida útil, se suele colocar un multi ciclón a la entrada de éste. De esta manera se eliminan las partículas más pesadas y se disminuye la posibilidad de que partículas incandescentes puedan dañar el tejido de las mangas. Se puede llegar hasta límites máximos de emisión de 20-30 mg/Nm<sup>3</sup>. El peso medio de una manga llena de partículas suele ser de 3 kg. Actualmente la limpieza de las mangas se realiza mediante:

- \* On-line con aire comprimido (tecnología pulse jet).
- \* Off-line con tobera desplazable.
- \* Off-line con aire comprimido y tobera desplazable.
- \* Off-line con aire comprimido y cámaras aisladas.

c) Separación por vía húmeda (wet scrubbers)

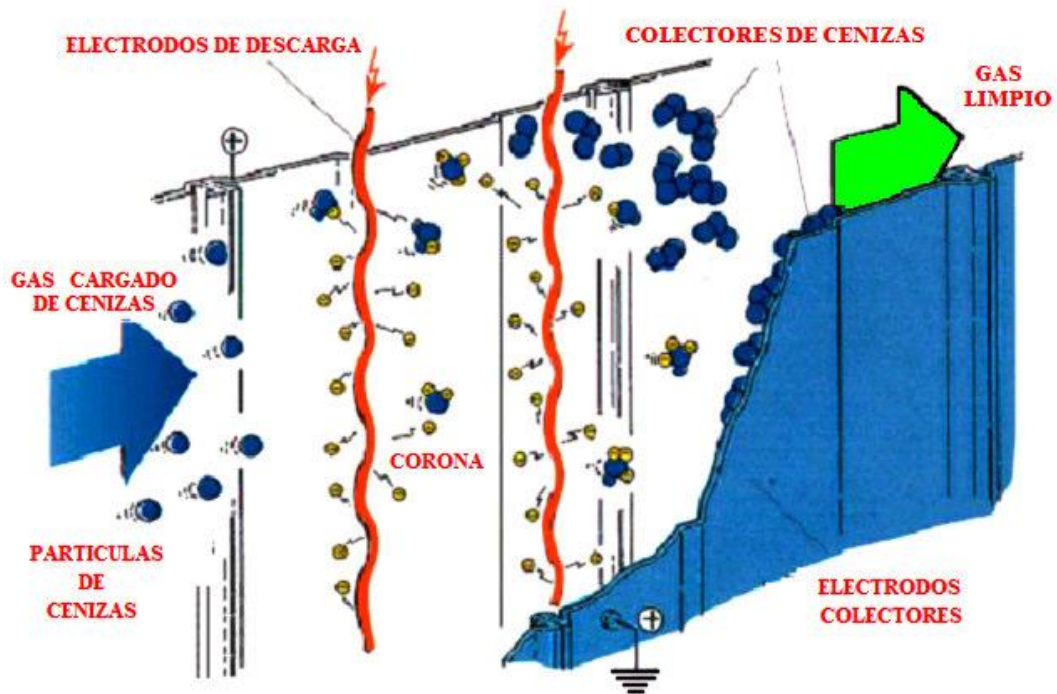
Consiste en la aplicación de una fina lluvia de agua sobre los gases de la combustión. Su porcentaje de separación es de prácticamente el 100 %. El principal problema es la eliminación de los lodos formados. Suele emplearse también para el tratamiento de gases ácidos.

## **PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO**

Opera bajo el principio de la fuerza electrostática producida por la generación de cargas eléctricas opuestas entre las partículas y las superficies del equipo. Es un aparato que requiere alta inversión inicial y elevados costos de operación, pero con el cual se pueden obtener eficiencias de captura superiores al 99%.

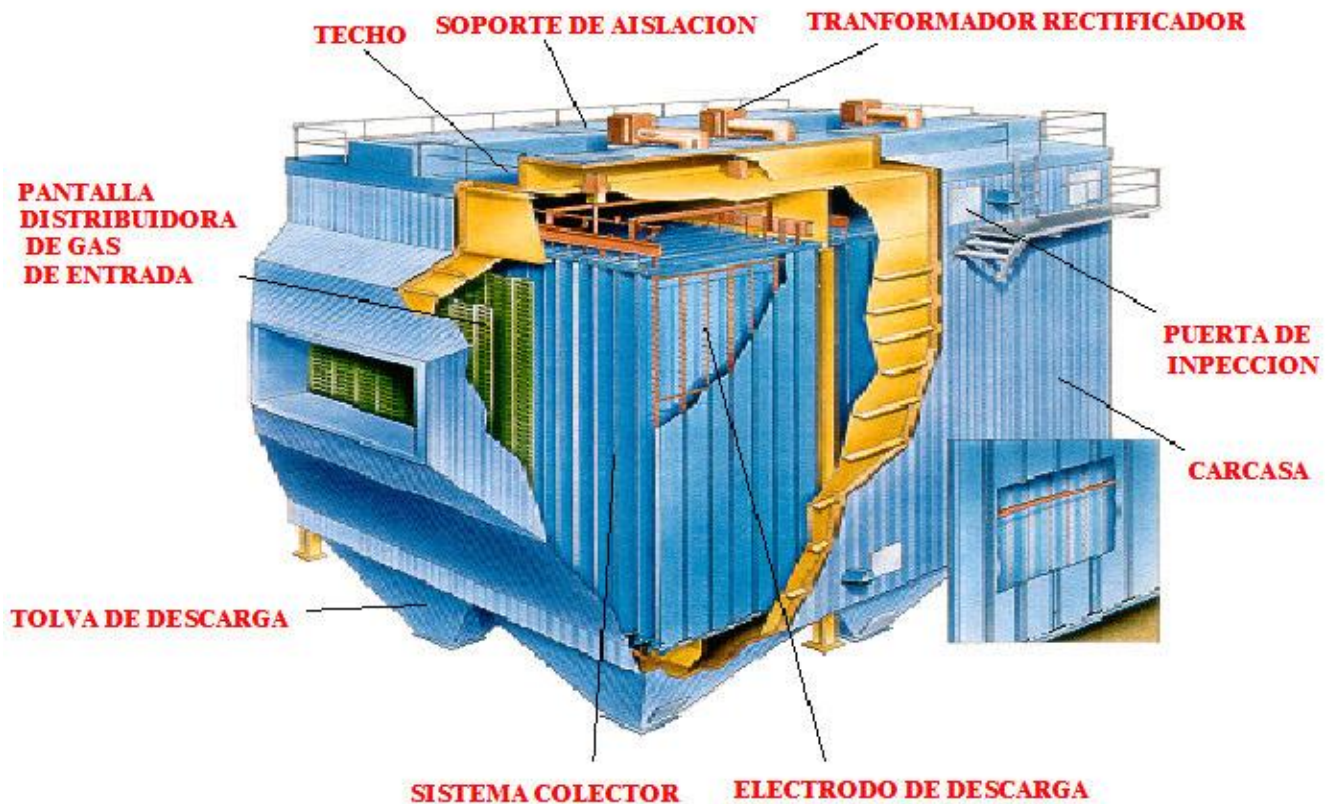
Un Precipitador electrostático es un dispositivo utilizado para el control de partículas basado en fuerzas eléctricas. Un alto voltaje (45.000 a 70.000 V) es aplicado a un alambre ubicado en el centro del Precipitador. La pared externa del Precipitador se conecta a tierra a potencial cero. Al alambre en el centro del Precipitador se lo denomina electrodo de descarga y a la pared externa. Electrodo colector. El electrodo de descarga mantiene un potencial negativo respecto del electrodo colector y así el campo eléctrico está dirigido hacia el alambre. El campo eléctrico cerca del alambre alcanza valores suficientemente altos como para provocar una corona de descarga en torno a él y la formación de electrones e iones negativos como por ejemplo los del O<sub>2</sub>. A medida que los electrones y los iones negativos son acelerados hacia el electrodo colector por las líneas del campo eléctrico no uniforme las partículas que se encuentran suspendidas en la corriente de gas ingresante, que fluye horizontalmente y paralelo a las placas verticales, se cargan por las colisiones y la captura de iones y llegan a depositarse en la

superficie de los electrodos colectores .De este modo el gas sale del Precipitador prácticamente libre de impurezas. Puesto que las partículas mayores de 10 m de diámetro absorben varias veces más iones que las menores de 1 m de diámetro, las fuerzas eléctricas son mucho más fuertes en las partículas mayores. El hecho de impartir una polaridad negativa a los electrodos se debe a que una corona negativa tolera un voltaje más alto antes de producir chispa a que una corona positiva .Debido al espacio libre necesario en la parte superior del Precipitador electrostático una fracción del gas se desvía alrededor de las zonas de carga. A este fenómeno se lo llama "fuga furtiva" e impone un límite máximo ala eficiencia de recolección. A medida que las partículas comienzan a depositarse sobre la superficie colectora, el espesor de la capa de material particulado se incrementa. Como consecuencia de esto el campo eléctrico va disminuyendo por lo que es necesario golpear periódicamente las superficies colectoras, el material cae y se recoge en el fondo, en tolvas de recolección. Sin este golpe periódico y la consecuente disminución en la recolección, la eficiencia del Precipitador electrostático se ve disminuida. Todo lo dicho anteriormente puede visualizarse en la siguiente figura:



## RETENCIÓN DE LAS PARTÍCULAS DEBIDO AL CAMPO ELECTROSTÁTICO.

Los precipitadores electroestáticos se usan mucho para eliminar la contaminación atmosférica de las chimeneas de los equipos industriales como, por ejemplo, las calderas de vapor y los hornos de cemento. Además se utilizan para recoger vapores de ácido sulfúrico y de ácido fosfórico, y para recuperar compuestos de



sodio en la sosa y en molinos de pasta de sulfato.

## PARTES PRINCIPALES DE UN PRECIPITADO ELECTROESTÁTICO

### ELECTRO-Filtros

Se hacen pasar los gases de la combustión entre dos electrodos aislados eléctricamente entre sí y entre los cuales se mantiene un campo electrostático con una Muy alta diferencia de potencial, de 15.000 a 100.000 voltios. El polo negativo está conectado a los electrodos llamados emisivos, y el polo positivo a los

electrodos llamados colectores que están conectados a tierra. En este campo se produce una descarga negativa tal que las partículas en suspensión quedan cargadas negativamente, siendo atraídas por el polo positivo de los electrodos. Al quedarse adheridas las partículas a los electrodos colectores quedan eléctricamente neutras y son evacuadas de los electrodos mediante vibradores o por una corriente de agua. Para aumentar la conductividad de las partículas en las grandes centrales térmicas se suele adicionar  $\text{CO}_3\text{Ca}$  a los humos. Se aplican eficientemente a partículas de hasta 2 micras, alcanzando su máxima eficiencia para tamaños superiores a 5 micras. Pueden trabajar sin límite de temperaturas. Suelen llegar a concentraciones de emisión de hasta  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . Generalmente se usan sólo en grandes centrales térmicas debido a su alto costo.

### **LAVADORES**

Operan adicionando un líquido en forma de gotas muy pequeñas a la corriente de gas contaminado, con el fin de impactar contra las partículas emitidas y provocar su precipitación.

### **CONTROL DE EMISIONES.**

En esta sección se hará referencia al control de contaminantes presentes en los gases de chimenea provenientes de los procesos de combustión que ocurren en las plantas productoras de manufacturas cerámicas.

Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo las plantas de interés están empleando actualmente gas natural como combustible fósil, lo cual constituye un paso importante en la disminución de la contaminación atmosférica, y un avance en la reconversión industrial del sector, debido a que este combustible es reconocido como el de menor carga contaminante. Para reforzar lo anterior es conveniente antes de referirse al control de emisiones, exponer los antecedentes panorama actual y perspectivas de utilización del gas natural en Colombia.

### **CONTROL DE CONTAMINANTES EN LA COMBUSTIÓN DE HORNOS Y SECADORES.**

Dada las características del combustible (gas natural) utilizado por las plantas en estudio (gran calidad, bajo contenido de Azufre) en la combustión de este gas se produce una baja emisión de  $\text{SO}_x$  y material particulado. El factor ambiental más importante en lo referente a contaminantes atmosféricos es la emisión de  $\text{NO}_x$  (aparte de las emisiones de  $\text{CO}_2$  y descargas térmicas). Sin embargo estudios han demostrado que estas emisiones continúan siendo menores a las producidas por la utilización de otros combustibles, tales como el carbón. Por tal motivo, procederemos a exponer algunos mecanismos y tecnologías de control de los  $\text{NO}_x$ .

### **CONTROLES DE NOX**

La tecnología más comúnmente utilizada cuando se requieren altas reducciones de  $\text{NO}_x$  es la tecnología SCR (Reducción Catalítica Selectiva).

En general esta tecnología se considera bien desarrollada. Se tratan los gases de combustión a la salida de los hornos y secadores con amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) como agente reductor, para convertir óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) a nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en la presencia de un catalizador. La unidad puede colocarse antes o después del precipitador electrostático (en caso de presencia de material particulado) o después del scrubber (si hubiese  $\text{SO}_x$ ). Los dos tipos de catalizadores más comunes son óxidos metálicos y metales nobles. El amoníaco que no ha reaccionado puede tener un impacto sobre procesos posteriores, podría por ejemplo, reaccionar con  $\text{SO}_3$  para formar bisulfato de amonio que es corrosivo.



Con la utilización de esta tecnología se consiguen eficiencias de remoción de  $\text{NO}_x$  superiores al 90%. Tomando una eficiencia mínima de remoción del 90% para las emisiones anuales de  $\text{NO}_x$  del sector industrial en estudio, aproximadamente pasarían de 0.54 a 0.054 Kg  $\text{NO}_x$ /Ton. Producto.

También se puede realizar un control de las emisiones de  $\text{NO}_x$  sin la utilización de catalizadores a través de la reducción no catalítica selectiva (SNCR). El sistema (SNCR), sólo involucra la inyección de amoníaco o urea dentro de los gases de chimenea procedentes de la combustión en una zona con temperatura específica de la chimenea.

Es conveniente mencionar además de lo anterior, que se utilizan tecnologías tales como los quemadores de bajo  $\text{NO}_x$  y la recirculación de gases de chimenea (FGR), las cuales aunque no sean propiamente tecnologías al final del tubo, son importantes cuando se traten aspectos relacionados con la reducción de este contaminante.

#### **REMOCIÓN DE $\text{CO}_2$ Y RECUPERACIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SOLVENTE Dow.**

La mecánica de remoción y recuperación del dióxido de carbono es similar a la de la limpieza del dióxido de azufre. El  $\text{CO}_2$  se remueve por medio de la reacción química con una solución solvente que fluye en dirección opuesta a la del gas.

La solución se denomina Gas/ Spec FS-1 y es un solvente de Dow basado en alcanolamina. A partir del proceso de absorción, la solución rica en solvente se bombea a un intercambiador de calor y entra al regenerador en donde se le quita el  $\text{CO}_2$ . Luego de la condensación, el  $\text{CO}_2$  que se recupera queda listo para compresión y licuefacción.

Para el  $\text{CO}_2$  removido se han propuesto tres sistemas potenciales para disponer de este  $\text{CO}_2$ : inyección en aguas oceánicas profundas, almacenamiento en pozos exhaustos de gas y de petróleo o en cavernas de sal excavadas.

La disposición del  $\text{CO}_2$  todavía presenta como se expone anteriormente, soluciones un tanto difíciles de aplicar (almacenamiento en pozos exhaustos de gas, cavernas de sal excavadas), sobre todo en países en vía de desarrollo como Colombia. En este sentido son más viables programas que involucren a la comunidad tales como planes de arborización y protección de zonas y áreas sembradas con el fin de que actúen como " pulmones verdes ".

#### **REMOCIÓN DE FLUORUROS, HF Y TRAZAS DE $\text{SO}_2$**

En el proceso de combustión presentado en el horno de los productos cerámicos se obtienen emisiones de HF, Fluoruros y  $\text{SO}_2$ . No necesariamente por la quema del combustible (gas natural), sino por la desgasificación de los productos quemados. A continuación se describen tres procesos típicos de remoción de gases ácidos.

#### **PROCESO TÍPICO DE INYECCIÓN EN SECO.**

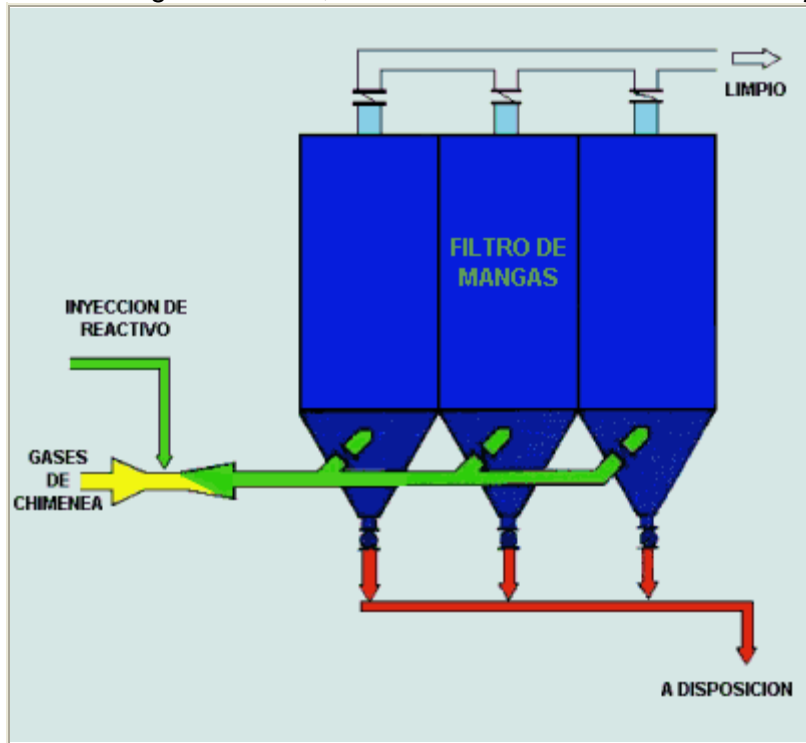
Es adecuado para dejar muy bajos niveles de  $\text{SO}_2$  y gases ácidos, su simplicidad de diseño y su bajo costo de inversión y mantenimiento lo hacen ventajoso sobre otros diseños.

Las técnicas de inyección en la corriente de gas varían dependiendo del material a ser colectado y del tipo de absorbente a utilizar ; a continuación se hará una breve descripción del equipo.

Un absorbente seco es inyectado aguas arriba de la corriente a tratar en el filtro de tela. Los gases ácidos son inicialmente absorbidos en el punto de inyección. Cuando el flujo de gas pasa a través de la torta filtrante sobre las mangas, los

gases ácidos son absorbidos, y las partículas sólidas son colectadas por deposición.

En la figura se puede observar el equipo utilizado en un proceso típico de inyección en seco que absorbe gases ácidos, mostrando las direcciones de los flujos.



**Proceso típico de inyección en seco.**

### **PROCESO TÍPICO DE ROCÍO (SECADOR – ATOMIZADOR)**

Una solución o lodo alcalino es atomizado dentro del gas de desecho a tratar en el absorbedor secador (spray).

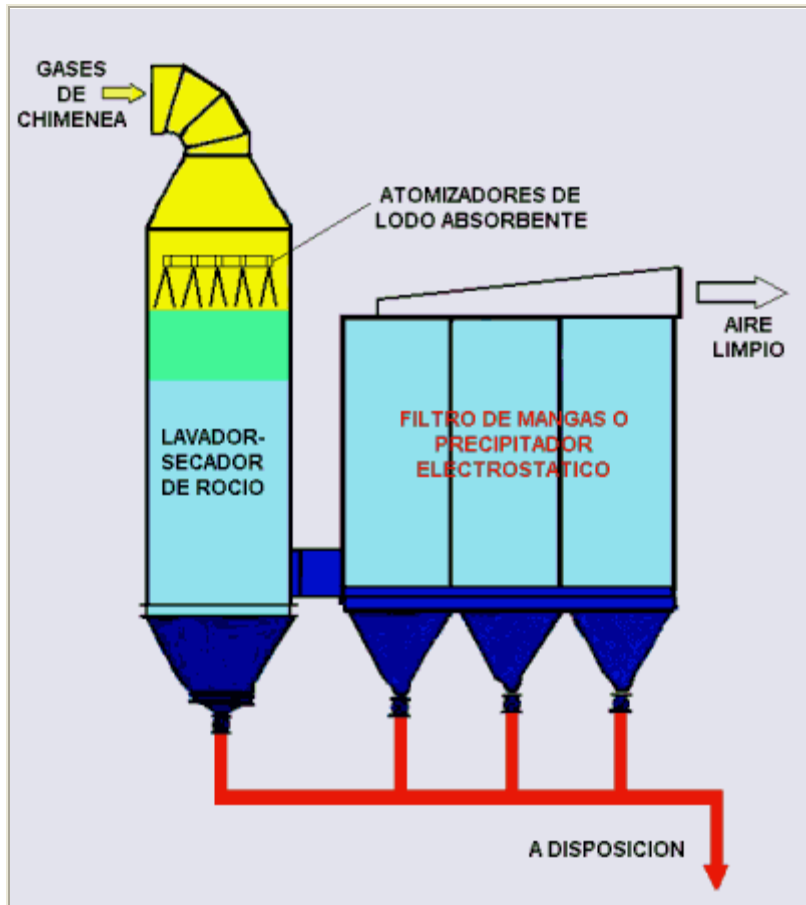
Las gotas finamente atomizadas absorben el  $\text{SO}_2$  y los gases ácidos, mientras que el calor del gas de desecho evapora las gotas. El gas de desecho, junto con los productos de reacción secos y las partículas sólidas son entonces colectadas en un filtro de mangas o en un precipitador electrostático.

Si un filtro de mangas es usado, ocurre una remoción adicional del  $\text{SO}_2$  y gas ácido, cuando el gas de desecho pasa a través de la torta filtrante sobre las mangas. Este sistema puede ser fácilmente inspeccionado y mantenido sin tener que ser retirado del proceso.

El flujo paralelo de gas de desecho minimiza el desgaste de las paredes del lavador (scrubber), eliminando la necesidad de aparatos para la limpieza de las paredes. Las boquillas individuales pueden ser removidas del secador rociador sin afectar su desempeño.

El diseño de flujo de gas hacia abajo minimiza los efectos de deposición externa, además de reducir los requerimientos de mantenimiento. En la figura se puede observar el equipo utilizado en el proceso típico de rocío (secador - atomizador).





**Proceso típico de rocío (secador - atomizador).**

### **PROCESO TÍPICO DE LAVADO (SCRUBBER).**

La tecnología de lavado en húmedo incluye tantas torres de rocío abierto (lazo sencillo o lazo doble) y diseños de torres empacadas, así como diseños de platos de doble flujo.

El diseño de torres de rocío abiertas con menos lavadores internos significa menores requerimientos de mantenimiento.

El diseño de torre empacada da mayor contacto gas-líquido y una eficiencia de remoción más alta y el diseño de flujo de plato doble ofrece ventajas proporcionando mejor contacto gas-líquido y mejor eficiencia de remoción de gas ácido que para la torre abierta.

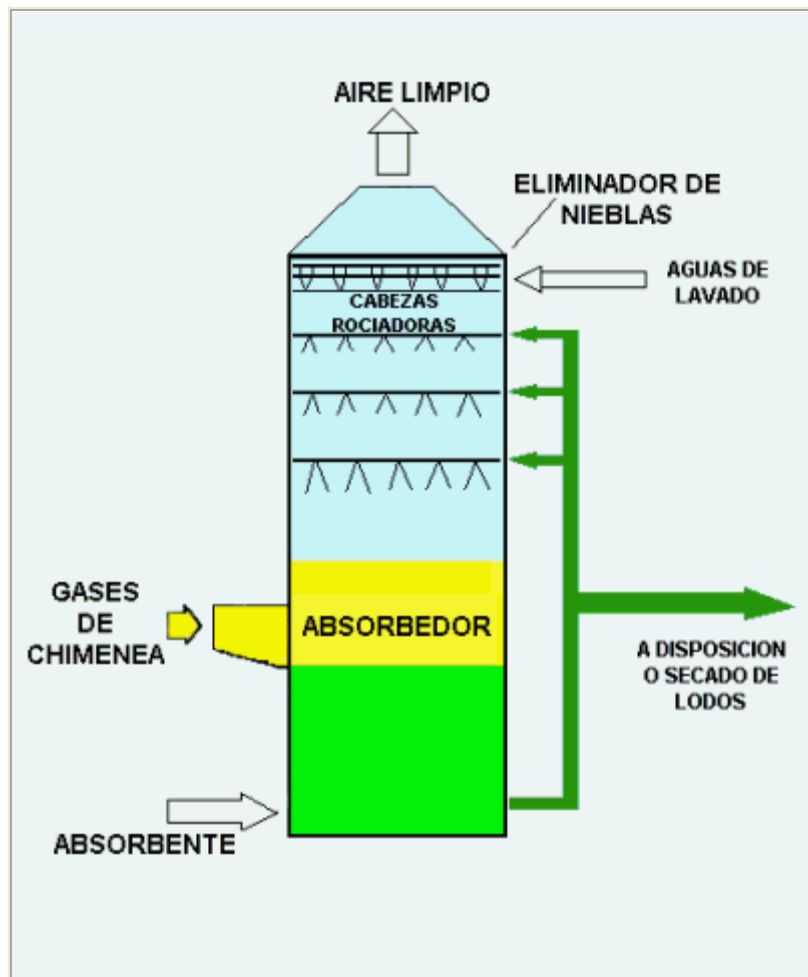
Tiene la ventaja de presentar mayor remoción de sólidos particulados y tienen menor cantidad de componentes absorbentes que requieren mantenimiento.

El gas de desecho entra al absorbedor y sube a través de la zona de absorción donde entra en contacto con un lodo o solución absorbente que está pasando a contra corriente a través del absorbedor.

El gas lavado continúa ascendiendo a través de un eliminador de nieblas que atrapa las gotas de absorbente arrastradas antes que el gas de desecho salga del lavador.

La solución de lavado cae dentro de un tanque de reciclo en el fondo del absorbedor, y es bombeado sobre un cabezal de boquillas que está sobre la zona de absorción.

Una corriente de purga es bombeada hacia un sistema donde adicionalmente es retirada el agua de los lodos.  
En la figura se puede observar el equipo utilizado en un proceso típico de lavado.



Proceso típico de lavado (scrubber).

#### SISTEMAS DE CONTROL PARA EMISIONES DE PARTÍCULAS PROVENIENTES DE FUENTES PUNTUALES.

Existen tres tipos de control aplicables a la carga de material particulado proveniente de fuentes puntuales: Filtros de Telas (llamados también filtros de talegas o *baghouses*), precipitadores electrostáticos y *scrubbers venturi*.

Las eficiencias de control y la aplicabilidad de estos equipos dependen de las propiedades físicas y/o electro-químicas del material particulado bajo consideración. La selección del equipo de control depende a su vez de las características específicas de la corriente y los parámetros de la misma (por ejemplo, la eficiencia requerida) que permitan la aplicabilidad de cada sistema de control seleccionado.

La temperatura de la corriente de emisión debería estar entre 50 a 100 °F por encima del punto de rocío si la corriente emitida va a ser tratada. Por un precipitador electrostático o un filtro de talegas. Si la temperatura de la emisión está por debajo de este rango puede ocurrir condensación y la condensación puede corroer la superficie del metal y el deterioro de las talegas del filtro de tela

entre otros problemas. Si la temperatura, por el contrario, está por encima de este rango, la recolección óptima de los contaminantes puede no ocurrir. Por debajo de la temperatura de emisión los componentes del vapor de los contaminantes están reducidos y entonces puede usarse un precipitador electrostático o un filtro de talegas para efectuar la recolección del material particulado de una manera más efectiva.

#### **FILTROS DE TELAS.**

Llamados también Filtros de Talegas o *Baghouses* son un eficiente medio de separación de material particulado presente en una corriente gaseosa. Un filtro de tela es típicamente menos eficiente si recolecta partículas del rango de 0,1 a 0,3 micrómetros de diámetro, sin embargo la eficiencia puede ser, no obstante, alto para este rango de partícula.

Los filtros de tela usados para el control de emisiones que contienen contaminantes peligrosos para el aire deberían tener una configuración cerrada y una presión de succión negativa para prevenir descargas accidentales de la corriente gaseosa y de los contaminantes capturados.

Este sistema de control usa un dispositivo de limpieza consistente en una sacudida mecánica de aire en reversa por medio de un chorro pulsante. Se diferencia de los precipitadores electrostáticos y de los scrubbers en que éstos últimos no son servicios muy eficientes. Un diseño y operación apropiados de los filtros de tela, usando uno de estos dos métodos de limpieza, producirá una concentración de partículas a la salida, sin tener en cuenta los cambios a la entrada. El rango de concentración de las partículas a la salida está entre 0,003 a 0,01 granos/scf, con un promedio que se encuentra alrededor de los 0,005 granos/scf.

Los baghouses son sensibles a las temperaturas de la corriente de emisión y puede ser requerido un pre-enfriador o un pre-calentador. Los filtros de talegas operan a bajas caídas de presión, permitiendo bajos costos de operación. Las caídas de presión a lo largo del equipo son un indicador fundamental del desempeño del mismo. Para el control de los contaminantes peligrosos para el aire se recomienda que sus parámetros sean monitoreados continuamente. Los filtros de talegas por lo general no se seleccionan para el control de emisiones con un alto contenido de humedad a menos que se efectúe un pre-tratamiento de la corriente bajo control.

#### **SCRUBBERS VENTURI.**

Estos equipos usan una corriente acuosa para remover material particulado proveniente de las corrientes de emisión. El desempeño de un scrubber venturi no está afectado por partículas con características de adhesividad, partículas inflamables o corrosivas. Son sin embargo más sensibles a la distribución del tamaño de partícula que los precipitadores electrostáticos o los filtros de talegas. En general, el desempeño de los scrubbers venturi es más eficiente para partículas de diámetro superior a 0,5 micrómetros. Tienen además el más bajo costo inicial que los filtros de talegas o los precipitadores electrostáticos, pero la caída de presión requerida para altas eficiencias de recolección contribuye a tener altos costos de operación.

