

39  
207



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE  
MONITOREO DE EMISIONES ATMOSFERICAS  
PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS  
EN UNA PLANTA FARMACEUTICA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA  
P R E S E N T A :  
MA. GUADALUPE CRUZ ROSAS**



**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**1993**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

### INTRODUCCION

#### I FUNDAMENTO LEGAL DEL MONITOREO DE EMISIONES ATMOSFERICAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS

1.1 Consideraciones del Plan Nacional de Desarrollo 1990-1994	5
1.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	14
1.3 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera	31
1.4 Normas técnicas ecológicas y Normas Oficiales Mexicanas ECOL	41

#### II DETERMINACION DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS EN UNA PLANTA FARMACEUTICA

2.1 Diagrama de flujo de procesos y servicios	75
2.2 Localización de fuentes fijas	100
2.3 Materias primas utilizadas	102

**III PROGRAMA DE MONITOREO DE FUENTES FIJAS EN UNA PLANTA  
FARMACEUTICA**

3.1 Normas oficiales mexicanas	104
3.2 Preparación de la chimenea	108
3.3 Métodos y procedimientos de un monitoreo atmosférico en una fuente fija	117
3.3.1 Monitoreo isocinético de partículas	121
3.3.2 Determinación de SO <sub>2</sub>	166
3.3.3 Determinación de NO <sub>x</sub>	168
3.3.4 Determinación de CO	174
3.3.5 Determinación de densidad de humo y análisis de gases (CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> )	179
3.4 Programa de monitoreo de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas en una industria farmacéutica	183

**IV CONTROL DE EMISIONES**

4.1 Estrategias de control	185
4.2 Control de partículas	189
4.2.1 Colectores de polvos	191
4.3 Control de gases NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> y CO	212

<b>CONCLUSIONES</b>	217
---------------------	-----

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	220
---------------------	-----

## INTRODUCCION

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna. Es la consecuencia de la manera como se construyen nuestras ciudades, la contaminación del aire es un residuo de los métodos como se producen nuestras mercancías, de como las transportamos junto con nosotros y también de como generamos la energía para calentar e iluminar los lugares donde vivimos, nos divertimos y trabajamos.

Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.

Hoy en día, para todos los que formamos parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en la cual la contaminación atmosférica se ha convertido en un factor crítico que nos afecta todos los días, tenemos la obligación de trabajar para evitar que la contaminación generada por fuentes fijas o móviles aumente y sobretodo aplicar medidas que contribuyan a su disminución.

Según la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación ambiental en el Valle de México, hasta 1992, se emitían más de 4 millones 356 mil toneladas de contaminantes atmosféricos, de los cuales aproximadamente el 8.4% proviene de fuentes fijas que incluyen termoeléctricas, industrias y servicios.

A simple vista, este porcentaje podría parecer relativamente bajo, sobre todo si se compara con la contribución del 76.6% que representan las emisiones contaminantes originadas por el transporte. Sin embargo, enfocado por contaminante, no se debe desestimar la participación que tienen las fuentes industriales, ya que éstas generan alrededor del 78.2% de las emisiones totales de dióxido de azufre, el 24.1% de los óxidos de nitrógeno, el 12.6% de los compuestos orgánicos volátiles, el 65% de las partículas y el 2.4% del monóxido de carbono, todos contaminantes atmosféricos importantes, debido a la toxicidad relativa del dióxido de azufre y de las partículas de origen industrial, al volumen de óxidos de nitrógeno emitidos y a la reactividad fotoquímica de los compuestos orgánicos volátiles para formar ozono.

El presente trabajo, se enfoca principalmente a los procesos que se llevan a cabo dentro de una planta farmacéutica, pero las metodologías revisadas pueden aplicarse a otras industrias.

Inicialmente, se expone el marco legal que nos obliga a tomar medidas para cuidar el medio ambiente en el que vivimos. Esto es con el fin de conocer la normatividad vigente que es aplicable a las emisiones provenientes de fuentes fijas.

Como segundo lugar, se revisarán los diagramas de flujo de los procesos de manufactura y de servicios que se llevan a cabo dentro de una planta farmacéutica, donde se utilizan diversas fuentes fijas, poniendo especial énfasis en los puntos de emisión de contaminantes.

Además se localizarán las fuentes fijas de emisión en una planta farmacéutica, lo cual ayudará a visualizar en forma conjunta no sólo las emisiones sino la generación de otros contaminantes.

También, se enlistan las materias primas utilizadas en la producción de las formas farmacéuticas más comúnmente elaboradas en la industria farmacéutica. Esto es con el fin de conocer la naturaleza de los contaminantes atmosféricos generados.

Una vez, detectado el tipo de contaminantes atmosféricos que se generan durante de la producción de formas farmacéuticas, debemos conocer la metodología para evaluar la cantidad que se está emitiendo para sujetarnos a las regulaciones vigentes. Es por eso que se revisará cómo se conduce la

evaluación de partículas y de gases de combustión que son los contaminantes emitidos principalmente en una planta farmacéutica.

Finalmente, conociendo cómo evaluar estas emisiones y estando conscientes de que es nuestra obligación contribuir al mejoramiento del ambiente, se exponen algunos métodos de control de emisión para disminuir la emisión de polvos y gases.



**CAPITULO I****FUNDAMENTO LEGAL DEL MONITOREO DE EMISIONES ATMOSFERICAS  
PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS****1.1.- Consideraciones del Plan Nacional de Desarrollo 1990-1994.**

La expansión demográfica y las actividades productivas que la sustentan han demostrado su incapacidad para incorporarse al conjunto de elementos de la flora y la fauna. Aunque ya se han generado serias modificaciones en la biósfera del planeta, la dinámica que impulsó el proceso productivo también proporcionó instrumentos para elevar el bienestar de la sociedad. Se ha iniciado una nueva era de crecimiento económico fundamentada en principios que sostengan y amplíen la base de recursos naturales. No se trata solamente de limpiar el aire o de restaurar una cuenca hidrológica, sino de encontrar una forma de desarrollo que permita más bienes y servicios sin afectar el patrimonio de recursos naturales de una nación.

La protección del ambiente representa una de las más altas prioridades del crecimiento así como un requisito impostergradable para dar viabilidad al proceso de modernización del país. Bajo estas premisas fundamentales el Programa Nacional de Protección al Medio Ambiente 1990-1994 se orienta

a compatibilizar el proceso general de desarrollo con el restablecimiento de la calidad del medio y la conservación y respeto a los recursos naturales.

El programa reconoce que para lograr el propósito establecido, se requiere el mejoramiento de los sistemas productivos y el cambio de algunos hábitos y prácticas de la sociedad. Los resultados no podrán darse de inmediato, sino a través de una gestión que, con base en un horizonte de largo plazo, considere la participación apropiada del gobierno y de los sectores social y privado.

La política ecológica que sustenta este Plan no está apoyada en el sacrificio del desarrollo ni en la sola acción correctiva; parte de la redefinición de los patrones de producción y consumo, para hacerlos compatibles con el cuidado del ambiente y el uso racional de los recursos. Se trata de favorecer un nuevo tipo de crecimiento que vaya acompañado de una actitud social corresponsable con el Estado, que asegure la prevención y evite la degradación del entorno.

El programa se estructura en cinco capítulos. El primero corresponde al diagnóstico, rubro en el cual se describen las características geográficas del territorio, los elementos generales de la problemática ambiental y la situación de los

recursos naturales y de cada uno de los componentes de la gestión ambiental.

En el segundo, se plantea el propósito general de hacer de la gestión ambiental uno de los instrumentos básicos para modernizar el desarrollo nacional; con esto se propicia la armonía del crecimiento socioeconómico con la conservación del medio natural, en un horizonte de largo plazo. Se establecen también los objetivos específicos para revertir el nivel de deterioro ambiental observado en la principales ciudades y ecosistemas del país.

En el tercero, se plantea la estrategia general y las líneas de estrategia para la consecución de los propósitos del Programa. Con el fin de propiciar una relación más equilibrada entre las actividades productivas y su impacto en el entorno inmediato y zonas ecológicas de influencia, se propone también una estrategia territorial en materia de aire, agua, suelo y recursos naturales, así como una estrategia intersectorial orientada a definir los términos fundamentales para sumar y conjugar esfuerzos institucionales.

En los capítulos cuarto y quinto, se establecen las metas y la instrumentación de los problemas específicos.

En lo referente a la situación actual del aire en las Zonas Urbanas e Industriales, la contaminación atmosférica es consecuencia de la dinámica de desarrollo. Se puede señalar como causa primordial del problema al rápido crecimiento demográfico que ha experimentado México en las últimas décadas y la tendencia de la población y del desarrollo industrial a concentrarse en unos cuantos polos de desarrollo.

Las grandes zonas urbanas presentan los problemas críticos de contaminación; el 40 por ciento del total de los contaminantes emitidos a la atmósfera se generan en las zonas metropolitanas del Valle de México (ZMVM), Guadalajara y Monterrey.

En la Zona Metropolitana del Valle de México, el problema de la contaminación atmosférica reviste características graves como consecuencia de la excesiva concentración urbano-industrial y de las condiciones geográficas y meteorológicas de la región. En ella se localiza el 20 por ciento de los establecimientos industriales del país, el 40% de la inversión bursátil y el 42 por ciento de la población económicamente activa.

No hay duda de que la ciudad de México y sus alrededores representan una zona crítica. Uno de sus problemas principales es la emisión de contaminantes que asciende a

provenientes de la industria; cuatro millones de toneladas son causadas por fuentes móviles y el resto corresponde a fenómenos naturales.

En relación con las fuentes fijas se estima en más de 30 mil el número de instalaciones industriales y de servicios; la mayor parte de ellas se localiza en el norte y noroeste de la zona. Las emisiones principales provienen de las industrias: química, fundición del hierro y acero, textil, de minerales no metálicos, hulera, papelera, alimenticia, vidriera, de plásticos, metalmecánica, de asfalto, de grasas y aceites y cementera. Destacan la refinería y las termoeléctricas, que aportan el 37 por ciento del total de contaminantes provenientes de fuentes fijas. Los establecimientos de servicios utilizan en forma importante calderas, quemadores e incineradores y hornos que liberan a la atmósfera bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y partículas.

Cabe destacar la alta generación de polvo de algunas fuentes fijas por la falta de uso de filtros y la optimización de sistemas de colección. El uso de combustóleo produce también altas concentraciones de bióxido de azufre, debido al alto contenido de azufre del petróleo en el país.

En cuanto a la infición por hidrocarburos de origen industrial, su evaluación es difícil. Las emisiones originadas por evaporación reaccionan con mucha facilidad en la atmósfera en presencia de luz solar, produciendo ozono; dichas emisiones provienen en forma importante de las instalaciones de almacenamiento de combustibles, así como de la fabricación y empleo de pinturas, tintas y adhesivos, entre otros.

El nivel de infición del aire en la ZMCM varía en forma ostensible. Se agudiza durante el invierno, cuando se acentúan los efectos de las condiciones geográficas y metereológicas particulares de la región, que dificultan la dispersión de elementos por la ausencia de corrientes de aire y por el fenómeno de inversión térmica.

Dentro de las metas de este Plan en materia de aire tenemos:

La reducción de la emisión de contaminantes atmosféricos mediante el establecimiento de medidas correctivas y preventivas para las fuentes móviles y fijas. En forma paralela, se desarrollarán programas intensivos de ahorro de energéticos.

Las tres grandes zonas metropolitanas, las ciudades fronterizas y los puertos y corredores industriales contarán con programas específicos para disminuir los niveles de

contaminación del aire. En éstos, se incluirán los mecanismos de concertación para que los sectores social y privado participen activamente.

En las zonas críticas del país se ampliarán y operarán eficientemente los sistemas de transporte colectivo, impulsando en especial el de energía eléctrica.

En el mediano plazo se disminuirá al mínimo el uso y la producción de las sustancias destructoras de la capa de ozono.

Se acelerarán las acciones de reubicación de las empresas altamente contaminantes, instaladas en la Zona Metropolitana del Valle de México, en Guadalajara y en Monterrey. No se permitirá la instalación de nuevas empresas que generen contaminación en las zonas críticas. En relación con otros giros industriales se intensificará la vigilancia y regulación para la incorporación de equipos anticontaminantes.

Se fortalecerá la Red Nacional de Monitoreo Atmosférico en los estados, municipios y zonas críticas.

Se ampliarán esfuerzos para fijar las normas que permitan garantizar la calidad del aire en el resto del país, estableciendo los niveles máximos de emisiones por fuente y contaminante, así como las medidas de control y abatimiento.

Se concluirá y actualizará el inventario de establecimientos industriales identificados a nivel nacional, así como el parque vehicular en circulación.

Para la prevención y control de las emisiones de humos, de polvos y de gases se producirán combustibles limpios para su uso en zonas críticas.

Se establecerán los mecanismos necesarios para la aplicación de programas de atención, a contingencias y emergencias ambientales en las zonas críticas.

En cuanto a las acciones a ejecutar, se tienen:

- Integración del Inventario Nacional de Fuentes Contaminantes y de Alto Riesgo del país.
  
- Vigilancia de la calidad del aire, en las zonas críticas, mediante el monitoreo de fuentes de emisión y el empleo de pronósticos meteorológicos de modelos de dispersión y de análisis químicos de la atmósfera.



- Actualización y ampliación del marco normativo vigente, en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica.

- Diseño de planes de contingencia y emergencia ambientales en las zonas críticas del país.

**1.2.- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.**

En la República Mexicana los ordenamientos legales básicos para la protección del medio ambiente y la regulación de las emisiones contaminantes provenientes de la industria son la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* y el *Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica*, los cuales entraron en vigor en marzo y noviembre de 1988, respectivamente.

Dentro de los conceptos de esta Ley tenemos:

- Ambiente: El conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio de tiempo determinados;

- Areas naturales protegidas: Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre, y que han quedado sujetas al régimen de protección;

- Aprovechamiento racional: La utilización de los elementos naturales, en forma que resulte eficiente, socialmente útil y procure su preservación y la del ambiente;

- Contaminación: La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico;
  
- Contingencia ambiental: Situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas;
  
- Control: Inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas en este ordenamiento;
  
- Criterios ecológicos: Los lineamientos destinados a preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente;
  
- Desequilibrio ecológico: La alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos;
  
- Ecosistema: La unidad funcional básica de la interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados;

- Equilibrio ecológico: La relación de interdependencia entre los elementos que conforman el ambiente que hace posible la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos;

- Elemento natural: Los elementos físicos, químicos y biológicos que se presentan en un tiempo y espacio determinados, sin la inducción del hombre;

- Emergencia ecológica: Situación derivada de las actividades humanas o fenómenos naturales que al afectar severamente a sus elementos, pone en peligro a uno o varios ecosistemas;

- Fauna silvestre: Las especies animales terrestres, que subsisten sujetas a los procesos de selección natural, cuyas poblaciones habitan temporal o permanentemente en el territorio nacional y que se desarrollan libremente, incluyendo sus poblaciones menores que se encuentren bajo el control del hombre, así como los animales domésticos que por abandono se tornen salvajes y por ello sean susceptibles de captura y apropiación;

- Flora silvestre: Las especies vegetales terrestres, así como hongos, que subsisten sujetas a los procesos de selección natural y que se desarrollan libremente en el territorio nacional, incluyendo las poblaciones o especímenes

de estas especies que se encuentran bajo el control del hombre;

- Flora y fauna acuáticas: Las especies biológicas y elementos biogénicos que tienen como medio de vida temporal, parcial o permanente las aguas, en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la nación ejerce derechos de soberanía y jurisdicción;

- Impacto ambiental: Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza;

- Manifestación del impacto ambiental: El documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo;

- Mejoramiento: El incremento de la calidad del medio ambiente;

- Ordenamiento ecológico: El proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente;

- **Preservación:** El conjunto de políticas y medidas para mantener las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales;
- **Prevención:** El conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente;
- **Protección:** El conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y prevenir y controlar su deterioro;
- **Recurso natural:** El elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre;
- **Región ecológica:** La unidad del territorio nacional que comparte características ecológicas comunes;
- **Residuo:** Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó;
- **Residuos peligrosos:** Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente;

- Restauración: Conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales;

- Secretaría: La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (actualmente Secretaría de Desarrollo Social).

- Vocación natural: Condiciones que presenta un ecosistema para sostener una o varias actividades sin que produzcan desequilibrios ecológicos.

Dentro de la Ley, se mencionan los siguientes asuntos de interés de la Federación:

- La formulación de los criterios ecológicos generales que deberán observarse en la aplicación de los instrumentos de la política ecológica, para la protección de las áreas naturales y de la flora y fauna silvestres y acuáticas, para el aprovechamiento de los recursos naturales, para el ordenamiento ecológico del territorio y para la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo;

- La prevención y el control de la emisión de contaminantes en zonas o en casos de fuentes emisoras de jurisdicción federal, que rebasen los niveles máximos permisibles por

ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica y olores perjudiciales al equilibrio ecológico o al ambiente.

Asimismo, compete tanto a entidades federativas como a los municipios, las siguientes atribuciones:

- La prevención y el control de la contaminación de la atmósfera, generada en zonas o por fuentes emisoras de jurisdicción estatal o municipal correspondientes;

- El establecimiento de las medidas para hacer efectiva la prohibición de emisiones contaminantes que rebasen los niveles máximos permisibles por ruido, energía térmica, lumínica y olores perjudiciales al equilibrio ecológico o al ambiente.

Por otro lado corresponde a la Secretaría de Desarrollo Social:

- Expedir las normas que serán observadas en todo el territorio nacional;

- La formulación de los criterios ecológicos para la aplicación de la política general de ecología; la protección de la flora y fauna silvestre y acuáticas; el aprovechamiento de los recursos naturales; el ordenamiento ecológico general del territorio; y la prevención y control de la contaminación



del aire, agua y suelo; con la participación que en su caso corresponda a otras dependencias;

De igual manera corresponde a la Secretaría de Desarrollo Social:

- Prevenir y controlar la contaminación de la atmósfera generada en el Distrito Federal por fuentes fijas que no funcionen como establecimientos mercantiles y espectáculos públicos, y participar, de conformidad con el acuerdo de coordinación que al efecto celebre con el Departamento del Distrito Federal, en la prevención y control de la generada por fuentes móviles que circulen en el propio territorio del Distrito Federal;

- Determinar la aplicación de tecnologías que reduzcan las emisiones contaminantes de los vehículos automotores, en coordinación con las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial y de Energía, Minas e Industria Paraestatal;

- Establecer y operar los sistemas de monitoreo de la contaminación atmosférica en el Distrito Federal;

Corresponde al Departamento del Distrito Federal:

- Prevenir y controlar la contaminación de la atmósfera generada en el Distrito Federal por fuentes fijas, que funcionen como establecimientos mercantiles y espectáculos públicos y por toda clase de fuentes móviles que circulen en su territorio;

Ambas dependencias se coordinarán particularmente cuando se trata del desarrollo de programas de capacitación para prevenir y controlar la contaminación atmosférica;

Corresponde también a la Secretaría llevar a cabo las acciones para prevención y el control de la contaminación atmosférica generada en actividades industriales, en los municipios de la zona conurbada al Distrito Federal.

Con respecto a la evaluación del Impacto Ambiental se establece que la realización de obras o actividades públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas emitidas por la Federación para proteger el ambiente, deberán sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría o de las entidades federativas o municipios, conforme a las competencias que señala la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, así como el cumplimiento de los requisitos que se les impongan una vez evaluado el impacto ambiental que pudieren originar, sin perjuicio de

prejuicio de otras autorizaciones que corresponda otorgar a las autoridades competentes.

El Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría, evaluará el impacto ambiental, particularmente en las siguientes materias:

- Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos y carboductos;
- Industria química, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, de bebidas, del cemento, automotriz y de generación y transmisión de electricidad;
- Exploración, extracción, tratamiento de substancias minerales y no minerales, reservadas a la Federación;
- Desarrollos turísticos federales;
- Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radioactivos;

Para la protección a la atmósfera se están considerando los siguientes criterios:

- La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país, y

- Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deberán ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

Para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, la Secretaría de Desarrollo Social tiene las siguientes funciones:

- Expedir, en coordinación con la Secretaría de Salud en lo referente a la salud humana, las normas correspondientes, especificando los niveles permisibles de emisión e inmisión por contaminante y por fuente de contaminación, de acuerdo al reglamento respectivo;

- Requerir la instalación de equipos de control de emisiones con quienes realicen actividades contaminantes en zonas conurbadas ubicadas en dos o más entidades federativas, y cuando se trate de bienes o zonas de jurisdicción federal;

- Expedir las normas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire;

- Expedir las normas para la certificación por la autoridad competente, de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas;

En materia de contaminación atmosférica, los gobiernos de los estados y de los municipios en los ámbitos de sus respectivas jurisdicciones llevarán a cabo las acciones de prevención y el control de la contaminación del aire en bienes y zonas de jurisdicción estatal.

También aplicarán los criterios generales para la protección a la atmósfera en las declaratorias de usos, destinos, reservas y provisiones, definiendo las zonas en que sea permitida la instalación de industrias contaminantes y convendrán con quienes realicen actividades contaminantes y, en su caso, les requerirán la instalación de equipos de control de emisiones cuando se trate de actividades de jurisdicción local, y promoverán ante la Secretaría dicha instalación, en los casos de jurisdicción federal;

Finalmente integrarán y mantendrán actualizado el inventario de fuentes fijas de contaminación, y evaluarán el impacto ambiental en los casos de jurisdicción local y se tomarán las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por contaminación atmosférica;

No podrán emitirse contaminantes a la atmósfera, que ocasionen o puedan ocasionar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente. En todas las emisiones a la atmósfera, deberán ser observadas las previsiones de esta Ley y de las disposiciones reglamentarias que de ella emanen, así como las normas expedidas por la Secretaría. Cuando dichas emisiones contengan materiales o residuos peligrosos, se requerirá para su emisión la previa autorización de la Secretaría.

Las autoridades competentes promoverán, en las zonas en las que se hubieren determinado aptas para uso industrial, próximas a áreas habitacionales, la instalación de industrias que utilicen tecnologías y combustibles que generen menor contaminación

La Secretaría promoverá que en la determinación de usos del suelo que definan los programas de desarrollo urbano respectivos, se consideren las condiciones topográficas, climatológicas y meteorológicas para asegurar la adecuada dispersión de contaminantes.

Para el otorgamiento de estímulos fiscales, las autoridades competentes considerarán a quienes:

- Adquieran, instalen u operen equipo para el control de emisiones contaminantes a la atmósfera;

- Adquieran, instalen u operen equipo para el control de emisiones contaminantes a la atmósfera;
- Fabriquen, instalen o proporcionen mantenimiento a equipo de filtrado, combustión, control y, en general, de tratamiento de emisiones que contaminen la atmósfera;
- Realicen investigaciones de tecnología cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes, y
- Ubiquen o relocalicen sus instalaciones para evitar emisiones contaminantes en zonas urbanas.

Por incumplimiento de la Ley General del Equilibrio Ecológico, se tienen establecidas las siguientes sanciones:

- Multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento de imponer la sanción:
- Clausura temporal o definitiva, parcial o total, y
- Arresto administrativo hasta por 36 horas.

Si una vez vencido el plazo concedido por la autoridad para subsanar la o las infracciones que se hubieren cometido, resultare que dicha infracción o infracciones aún subsisten, podrán imponerse multas por cada día que transcurra sin obedecer el mandato, sin que el total de las multas exceda el monto máximo permitido.

En el caso de reincidencia, el monto de la multa podrá ser hasta por dos veces del monto originalmente impuesto, sin exceder del doble del máximo permitido, así como la clausura definitivo.

Cuando la gravedad de la infracción lo amerite, la autoridad solicitará a quien los hubiere otorgado, la suspensión, revocación o cancelación de la concesión, permiso, licencia y en general de toda autorización otorgada para la realización de actividades comerciales, industriales o de servicios, o para el aprovechamiento de recursos naturales que haya dado lugar a la infracción.

Para la imposición de las sanciones por infracciones a la Ley, se tomará en cuenta;

- La gravedad de la infracción, considerando principalmente el criterio de impacto en la salud pública y la generación de desequilibrios ecológicos;



- Las condiciones económicas del infractor, y
- La reincidencia, si la hubiere.

Cuando proceda como sanción la clausura temporal o definitiva, total o parcial, el personal comisionado para ejecutarla procederá a levantar acta detallada de la diligencia, siguiendo para ello los lineamientos generales establecidos para las inspecciones.

#### **Denuncia popular**

Toda persona podrá denunciar ante la Secretaría, o ante otras autoridades federales o locales según su competencia, todo hecho, acto u omisión de competencia de la Federación, que produzca desequilibrio ecológico o daños al ambiente, contraviniendo las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de los demás ordenamientos que regulen materias relacionadas con la protección al ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico.

Si en la localidad no existiere representación de la Secretaría, la denuncia se podrá formular ante la autoridad municipal o, a elección del denunciante, ante las oficinas más próximas de dicha representación.

Si la denuncia fuera presentada ante la autoridad municipal y resulta del orden federal, deberá ser remitida para su atención y trámite a la Secretaría.

La denuncia popular podrá ejercitarse por cualquier persona, bastando para darle curso, el señalamiento de los datos necesarios que permitan localizar la fuente, así como el nombre y domicilio del denunciante.

La Secretaría, una vez recibida la denuncia, procederá por los medios que resulten conducentes a identificar al denunciante y, en su caso, hará saber la denuncia a la persona o personas a quienes se imputen los hechos denunciados o a quienes pueda afectar el resultado de la acción emprendida.

La Secretaría efectuará las diligencias necesarias para la comprobación de los hechos denunciados, así como para la evaluación correspondiente.

Si los hechos fueren de competencia local, hará llegar la denuncia ante la autoridad competente y promoverá ante la misma la ejecución de las medidas que resulten procedentes.

**1.3.-Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.**

El presente Reglamento rige en todo el territorio nacional y tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en lo que se refiere a la prevención y control de la contaminación de la atmósfera.

Para los efectos de este Reglamento se aplicarán las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como a las siguientes:

**Emisión:** La descarga directa o indirecta a la atmósfera de toda sustancia, en cualquiera de sus estados físicos, o de energía.

**Fuente nueva:** Es aquella en la que se instale por primera vez un proceso o se modifiquen los existentes.

**Fuente fija:** Es toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Fuente móvil: Aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijos con motores de combustión y similares, que con motivo de su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Fuente múltiple: Aquella fuente fija que tiene dos o más ductos o chimeneas por las que se descargan las emisiones a la atmósfera, provenientes de un solo proceso.

Inmisión: La presencia de contaminantes en la atmósfera, a nivel del piso.

Ley: La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Plataforma y puertos de muestreo: Instalaciones para realizar el muestreo de gases o partículas en ductos o chimeneas.

Reglamento: El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera.

Secretaría Secretaría de Desarrollo Social.

Verificación: Medición de las emisiones de gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, provenientes de vehículos automotores.

Zona crítica: Aquella en la que por sus condiciones topográficas y metereológicas se dificulte la dispersión o se registren altas concentraciones de contaminantes a la atmósfera.

Los siguientes artículos se refieren a la emisión de contaminantes a la atmósfera, generadas por fuentes fijas.

- Artículo 16

Las emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera que se generen por fuentes fijas, no deberán exceder los niveles máximos permisibles de emisión e inmisión, por contaminantes y por fuente de contaminación que se establezcan en las normas técnicas ecológicas que para tal efecto expida la Secretaría.

Asimismo, y tomando en cuenta la diversidad de tecnologías que presentan las fuentes, podrán establecerse en la norma técnica ecológica diferentes valores al determinar los niveles máximos permisibles de emisión o inmisión, para un

mismo contaminante o para una misma fuente, según se trate de:

- I.- Fuentes existentes
- II.- Nuevas Fuentes
- III.- Fuentes localizadas en zonas críticas.

- Artículo 17

Los responsables de las fuentes fijas de jurisdicción federal, por las que se emitan olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera estarán obligados a:

- Emplear equipos y sistemas que controlen las emisiones a la atmósfera, para que éstas no rebasen los niveles máximos permisibles establecidos en las Normas Técnicas Ecológicas correspondientes;
- Integrar un inventario de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, en el formato que determine la Secretaría;
- Instalar plataformas y puertos de muestreo;
- Medir sus emisiones contaminantes a la atmósfera, registrar los resultados en el formato que determine la Secretaría y remitir a esta los registros, cuando así los solicite;

- Llevar a cabo el monitoreo perimetral de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, cuando la fuente de que se trate se localice en zonas urbanas o suburbanas, cuando colinde con áreas naturales protegidas, y cuando por sus características de operación o por sus materias primas, productos y subproductos, puedan causar graves deterioros a los ecosistemas;

- Llevar a cabo una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control;

- Dar aviso anticipado a la Secretaría del inicio de operación de sus procesos, en el caso de paros y de inmediato en el caso de que estos sean circunstanciales, si ellos pueden provocar contaminación;

- Dar aviso inmediato a la Secretaría en el caso de falla del equipo de control, para que esta determine lo conducente, si la falla puede provocar contaminación.

Art. 18.-Sin perjuicio de las autorizaciones que expidan otras autoridades competentes, las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, requerirán licencia de funcionamiento expedida por la Secretaría, la que tendrá una vigencia indefinida.

Art 19.- Para obtener la licencia de funcionamiento a que se refiere el artículo anterior, los responsables de las fuentes, deberán presentar a la Secretaría, solicitud por escrito acompañada de la siguiente información y documentación:

- Datos generales del solicitante;
- Ubicación;
- Descripción del proceso;
- Distribución de maquinaria y equipo;
- Materias primas o combustibles que se utilicen en su proceso y forma de almacenamiento;
- Transporte de materias primas o combustibles al área de proceso;
- Transformación de materias primas o combustibles;
- Productos, subproductos y desechos que vayan a generarse;
- Almacenamiento, transporte y distribución de productos y subproductos;



- Cantidad y naturaleza de los contaminantes a la atmósfera esperados;
- Equipos de control de la contaminación a la atmósfera que vayan a utilizarse, y
- Programa de contingencias, que contenga las medidas y acciones que se llevarán a cabo cuando las condiciones meteorológicas de la región sean desfavorables, o cuando se presenten emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas extraordinarias no controladas.

La información a que se refiere este artículo deberá presentarse en el formato que determine la Secretaría, quién podrá requerir información adicional que considere necesaria y verificar en cualquier momento, la veracidad de la misma.

Art. 20.- Una vez recibida la información a que se refiere el artículo anterior, la Secretaría otorgará o negará la licencia de funcionamiento correspondiente, dentro de una plazo de 30 días hábiles contados a partir de la fecha en que se cuente con toda la información requerida.

En el caso de otorgarse la licencia, en ésta se precisará:

- La periodicidad con que se deberá remitir a la Secretaría el inventario de sus emisiones;
- La periodicidad con que deberá llevarse a cabo la medición y el monitoreo a que se refieren las fracciones IV y V del art. 17:
- Las medidas y acciones que deberán llevarse a cabo en el caso de una contingencia, y
- El equipo y aquellas otras condiciones que la Secretaría determine, para prevenir y controlar la contaminación a la atmósfera.

La Secretaría podrá fijar en la licencia de funcionamiento, niveles máximos de emisión específicos para aquellas fuentes fijas que por sus características especiales de construcción o por peculiaridades en los procesos que comprenden no puedan encuadrarse dentro de las normas técnicas ecológicas que establezcan niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera.

Art.22.- La Secretaría podrá modificar con base a la información contenida en la cédula de operación a que se refiere el artículo anterior, los niveles máximos de emisión específicos que hubiere fijado en los términos del art. 20 del presente Reglamento cuando:

- La zona en la que se ubique la fuente se convierta en zona crítica;
- Existan tecnologías de control de contaminantes a la atmósfera más eficientes, y
- Existan modificaciones en los procesos de producción empleados por la fuente.

Art. 23.- Las emisiones de contaminantes atmosféricos que se generen por las fuentes fijas de jurisdicción federal, deberán canalizarse a través de ductos o chimeneas de descarga.

Cuando por razones de índole técnica no pueda cumplirse con lo dispuesto por este artículo, el responsable de la fuente deberá presentar a la Secretaría un estudio justificativo para que ésta determine lo conducente.

Art. 24.- Los ductos o chimeneas a que se refiere el artículo anterior, deberán tener la altura efectiva necesaria, de acuerdo con la norma técnica ecológica correspondiente, para dispersar las emisiones contaminantes.

Art. 25.- Las mediciones de las emisiones contaminantes a la atmósfera se llevarán a cabo conforme a los procedimientos de muestreo y cuantificación establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas o, en su caso, en las normas técnicas ecológicas correspondientes. Para evaluar la emisión total de contaminantes atmosféricos de una fuente múltiple, se deberán sumar las emisiones individuales de las chimeneas existentes.

Art. 26.- Los responsables de las fuentes fijas de jurisdicción federal, deberán conservar en condiciones de seguridad las plataformas y puertos de muestreo y mantener calibrados los equipos de medición, de acuerdo con el procedimiento previsto en la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

#### 1.4.- Normas técnicas ecológicas y Normas Oficiales Mexicanas ECOL.

Dentro de la Ley General de Equilibrio Ecológico se estableció que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (Secretaría de Desarrollo Social actualmente) en coordinación con la Secretaría de Salud y Entidades de la Administración Pública Federal deberán expedir las normas técnicas ecológicas, para prevenir y controlar el deterioro ecológico y la contaminación ambiental. Hoy en día las NTE's hasta la fecha expedidas, están siendo paulatinamente abrogadas y siendo substituidas por Normas Oficiales Mexicanas expedidas por la SEDESOL en colaboración con diferentes instituciones, empresas, etc. Por lo tanto, se han estado publicando en primer lugar Proyectos de Normas Oficiales, los cuales después de 90 días naturales de su publicación oficial, son sujetos a revisión y obtención de comentarios acerca de su contenido. Actualmente se han publicado las Normas Oficiales Mexicanas, denominadas NOM-CCAT-006-ECOL/1993, por ejemplo. Por lo tanto todo lo referente a las NTE's que a continuación se hablará, podemos referirlo a las NOM's que están entrando en vigor.

Una norma técnica ecológica o norma oficial mexicana, es "el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría, que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles

que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente y, además que uniformicen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia".

Las normas técnicas ecológicas (NTE's) ó (NOM's) determinarán los parámetros dentro de los cuales se garanticen las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

De igual manera las NTE's ó NOM's son aplicables para cada tipo de industria, las cuales, de acuerdo a sus actividades y servicios originan emisiones de contaminantes en cualquiera de sus formas y pueden causar desequilibrio ecológico o daños al ambiente, afectando con esto los recursos naturales, así como la salud de la población en general.

Para la expedición de una NTE o NOM, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) determina los tipos de contaminantes que emite una industria, planteando y estudiando los parámetros a controlar mediante una evaluación exhaustiva.

Las NTE's se presentan mediante acuerdos entre la SEDESOL y los industriales del ramo y se estructuran mediante un

"considerando", en donde se especifican sus usos y determinaciones, así como sus límites máximos y mínimos permisibles de emisión, entre otros. Posteriormente se establecen los acuerdos para los cuales se crea la norma y se especifican definen los conceptos que ayudan al mejor entendimiento de la norma. Por otro lado las nuevas NOM's se estructuran nuevamente empezando con un "considerando", enseguida el prefacio en donde se mencionan los participantes en su elaboración. El primer punto es el objeto u objetivo, el segundo el campo de aplicación, el tercero las referencias, el cuarto las definiciones, como quinto punto las especificaciones, en el sexto tenemos la vigilancia, el séptimo lo referente a las sanciones, el octavo punto la bibliografía, el noveno la concordancia con normas internacionales y por último la vigencia de la norma.

Como podemos observar a simple vista, las nuevas NOM's, son más completas y sobre todo más claras para su mejor aplicación.

A fin de diferenciar las Normas Técnicas Ecológicas existentes ó las actuales NOM's para agua, atmósfera ó residuos peligrosos, se tiene una clave de identificación como se muestra a continuación:

NTE-CCA ó NOM-CCA	Se refiere a Agua residual
NTE-CCAT ó NOM-CCAT	Se refiere a Atmósfera
NTE-CRP ó NOM-CRP	Se refiere a Residuos peligrosos

Hasta antes de abril de 1993, SEDESOL, había promulgado 8 Normas Técnicas Ecológicas con relación a la emisión de fuentes estacionarias. De éstas, 4 eran específicas a fuentes emisoras, 3 eran de carácter general y se referían al empleo de combustibles, y una era específica al control de partículas.

Adicionalmente, promulgó una norma para regular las características del combustible que se emplea en la industria del Valle de México, en la cual se establece que, a partir del 1º de diciembre de 1991, el contenido de azufre en el combustible no deberá superar el 2% en peso. Esta norma fué abrogada y ahora es sustituida por la NOM-CCAT-015 ECOL/1993.

Para efectos del presente trabajo se incluirán, tanto las anteriores NTE (para fines de referencia y comparativos), así como la NOM-CCAT-019-ECOL/1993 (NE) que regula la contaminación atmosférica en fuentes fijas, vigente por seis meses a partir del 19 de noviembre de 1993 y la NOM-CCAT-006-ECOL/1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas. Las anteriores NTE's en el área de contaminación ambiental originada por emisiones a la



ambiental originada por emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas que fueron abrogadas son las siguientes:

Objeto a controlar	Norma Técnica
Combustión de	
Diesel	NTE-CCAT-005/88 *
Combustóleo	NTE-CCAT-007/88 *
Gas Natural	NTE-CCAT-008/88 *
Emisión de	
Partículas	NTE-CCAT-009/88 *

**\* ABROGADA**

**DESCRIPCION DE LA NORMA TECNICA ECOLOGICA-005/88**

- NTE-CCAT-005/88, establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión de diesel en fuentes fijas.

Considerando que algunas fuentes fijas que usan diesel como combustible generan contaminantes, dentro de los cuales se encuentran, entre otros, las partículas, el monóxido de carbono, el bióxido de azufre, y los óxidos de nitrógeno. Algunos de estos contaminantes reaccionan con otros

compuestos, formando otros contaminantes con características toxicológicas más severas al ambiente que ellos.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, para los procesos de combustión de diesel en fuentes fijas son:

**NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE  
EMISION**

CONTAMINANTE	ZONAS CRITICAS kg/m <sup>3</sup> (a)	RESTO DEL PAIS kg/m <sup>3</sup> (a)
PARTICULAS	0.260	0.300
MONOXIDO DE CARBONO	0.600	0.665
BIOXIDO DE AZUFRE	17.000	34.000
OXIDOS DE NITROGENO(b)	2.700	3.000

(a) Kilogramos de contaminantes por cada metro cúbico de diesel consumido a 298 °K (25 °C).

(b) Los óxidos de nitrógeno expresados como bióxido de nitrógeno.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera establecidos, podrán rebasarse en caso de operaciones de arranque y soplado del equipo de combustión, siempre y cuando no excedan períodos mayores de 15 minutos y que estos no se presenten más de tres veces al día.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, o en su caso en las que expida la autoridad competente.

#### DESCRIPCION DE LA NORMA TECNICA ECOLOGICA-007/88

- NTE-CCAT-007/88.-establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión de fuentes fijas, que utilicen únicamente combustóleo como combustible, cuando los gases de combustión no estén en contacto directo con los materiales de proceso.

Considerando que algunas fuentes fijas usan combustóleo como combustible generan contaminantes, dentro de los cuales se encuentran, entre otros, las partículas, el monóxido de carbono, el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. Algunos de estos contaminantes reaccionan con otros compuestos, formando otros contaminantes con características toxicológicas más severas al ambiente que aquéllos.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos

de nitrógeno provenientes de procesos de combustión de combustóleo en fuentes fijas son:

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE

EMISION

CONTAMINANTES	ZONAS CRITICAS kg/m <sup>3</sup> a	RESTO DEL PAIS kg/m <sup>3</sup> a
PARTICULAS	4.240	6.740
MONOXIDO DE CARBONO	0.600	0.660
BIOXIDO DE AZUFRE	57.000	95.000
OXIDOS DE NITROGENO <sup>b</sup>	6.600 <sup>c</sup>	6.600 <sup>c</sup>
	8.000 <sup>d</sup>	8.000 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Kilogramos de contaminantes por cada metro cúbico de combustóleo consumido a 298 K (25 °C).

<sup>b</sup> Los óxidos de nitrógeno expresados como bióxido de nitrógeno.

Los niveles máximos permisibles se especifican de acuerdo al tamaño del equipo, en dos grupos:

<sup>c</sup> Para equipos de combustión de capacidad hasta de  $10^6$  x  $10^0$  joules/hora.

<sup>d</sup> Para equipos de combustión de capacidad mayor de  $10^6$  x  $10^0$  joules/hora.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, establecidos, podrán rebasarse en caso de operaciones de arranque y soplado del equipo de combustión siempre y cuando no excedan períodos mayores de 15 minutos y que éstos no se presenten más de tres veces al día.

En lo referente a las emisiones en equipos de combustión con capacidad mayor de  $106 \times 10^0$  joules/hora los niveles máximos permisibles podrán rebasarse durante el inicio de operación de arranque de los equipos de combustión, siempre que no excedan períodos mayores de 7 horas y éstas no se presenten más de dos veces al año. Durante este período la opacidad de las emisiones a la atmósfera no deberá ser mayor, en promedio por hora, que la establecida en la Carta No. 2 de Ringelmann.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxido de nitrógeno deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes o, en su caso, en las que expida la autoridad competente.

## DESCRIPCION DE LA NORMA TECNICA ECOLOGICA 008/88

- NTE-CCAT-008/88.- Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión en fuentes fijas que utilicen únicamente gas natural como combustible, cuando los gases de combustión no estén en contacto con los materiales de proceso.

Considerando que algunas fuentes fijas que usan gas natural como combustible generan contaminantes, dentro de los que se encuentran, entre otros, las partículas, el monóxido de carbono, el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. Algunos de estos contaminantes reaccionan con otros compuestos, formando otros contaminantes con características toxicológicas más severas al ambiente, que aquéllos.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión de gas natural en fuentes fijas son:

CONTAMINANTES	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION EN kg/m <sup>3</sup> <sup>a</sup>
OXIDOS DE NITROGENO	2250 <sup>c</sup>
PARTICULAS	100
MONOXIDO DE CARBONO	500 <sup>c</sup>
BIOXIDO DE AZUFRE	10
OXIDOS DE NITROGENO <sup>b</sup>	9000 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Kilogramo de contaminante por cada millón de metros cúbicos de gas natural consumido a un kilogramo por centímetro cuadrado (98060 Pa) y 293 K (20 °C).

<sup>b</sup> Los óxidos de nitrógeno expresados como bióxido de nitrógeno.

Los niveles máximos permisibles se especifican de acuerdo al tamaño del equipo en dos grupos.

<sup>c</sup> Para equipos de combustión de capacidad hasta de  $106 \times 10^0$  joules/hora.

<sup>d</sup> Para equipos de combustión de capacidad mayor de  $106 \times 10^0$  joules/hora.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera establecidos, podrán rebasarse en caso de las operaciones de arranque y soplado del equipo de combustión, siempre y cuando no excedan períodos mayores de 10 minutos y no se presenten más de tres veces al día.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes o, en su caso, las que expida la autoridad competente.

#### DESCRIPCION DE LA NORMA TECNICA ECOLOGICA 009/88

- NTE-CCAT-009/88.- establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

Considerando que algunas fuentes fijas generan contaminantes, dentro de los que se encuentran, entre otros, las partículas. Estos materiales al combinarse en la atmósfera con otros contaminantes pueden causar un daño mayor al ambiente.



Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de las fuentes a que se refiere el artículo primero de acuerdo con el flujo de gases son:

**NIVELES MAXIMOS PERMSIBLES DE EMISION DE PARTICULAS SOLIDAS**

<b>FLUJO DE GASES EN LA FUENTE m<sup>3</sup>/min.</b>	<b>ZONAS CRITICAS mg/m<sup>3</sup></b>	<b>RESTO DEL PAIS mg/m<sup>3</sup></b>
5	1536	2304
10	1148	1722
20	858	1287
30	724	1086
40	641	962
50	584	876
60	541	811
100	437	655
200	326	489
500	222	333
800	182	273
1000	166	249
3000	105	157
5000	84	127
8000	69	104
10000	63	95
20000	47	71
30000	40	60
50000	32	48

La interpolación y extrapolación de los datos no contenidas en esta tabla para zonas críticas, está dada por la ecuación:

$$E = 3020 (C \exp^{-0.42})$$

y para el resto del país:

$$E = 4529.7 (C \exp^{-0.42})$$

Donde:

E= Nivel máximo permisible de emisión en miligramos por metro cúbico normal.

C= Flujo de gases en la fuente en metros cúbicos normales por minuto.

La emisión está referida a condiciones normales de temperatura 298 K (25 °C) y presión de 101,325 unidades pascal (760 mmHg) base seca.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas sólidas a la atmósfera, deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, o en su caso en las que expida la autoridad competente.

DESCRIPCION DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-CCAT-019-  
ECOL/1993 (NE).

Esta norma oficial mexicana establece los niveles máximos permisibles de emisión de partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y humo, así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de combustión de calentamiento indirecto utilizados en las fuentes fijas, que usan combustibles fósiles líquidos y gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

Se exceptúan los calentadores de agua domésticos, las estufas, los anafres y los asadores.

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para en el uso de los equipos de calentamiento indirecto utilizados en las fuentes fijas que usan combustibles fósiles líquidos y gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

Entre las definiciones que se deben manejar para la mejor comprensión de esta norma están:

- Caballo caldera (CC).

La cantidad de calor requerida para producir 15.65 kilogramos por hora de vapor saturado a una temperatura de 100 °C, utilizando agua a la misma temperatura, siendo equivalente a 35.32 megajoules por hora (Mj/h).

- Caldera.

El recipiente cerrado a presión, en el cual, por medio del calor que produce la combustión de un combustible se genera vapor, agua caliente o se transfiere calor a un líquido térmico.

- Calentamiento indirecto.

La transferencia de calor en la que los gases de combustión no están en contacto directo con los materiales del proceso.

- Capacidad térmica de un equipo de combustión.

La capacidad de generación de calor especificada por el fabricante o calculada de acuerdo al consumo de combustible y su poder calorífico por hora, operando a su máxima capacidad.

- Combustibles fósiles líquidos y gaseosos.

Los combustibles derivados del petróleo, tales como: petróleo diáfano, diesel, combustóleo, gasóleo, gas natural, gas L.P., propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

- Combustión.

La oxidación rápida que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, humo, luz calor.

-Densidad de humo.

La concentración de partículas sólidas o líquidas transportadas por la corriente de gases producto de una combustión incompleta.

- Emisión Permisible Equivalente.

El nivel máximo permisible de emisión para cada contaminante cuando se utilicen simultáneamente combustibles fósiles líquidos y gaseosos.

- Equipo de combustión.

El dispositivo que se utiliza para realizar la combustión de un gas, un líquido o cualquiera de sus combinaciones, así como sus accesorios.

- Equipo de combustión existente.

El instalado y/o el proyectado y aprobado para su instalación por la autoridad competente antes de la publicación de la presente norma oficial mexicana.

- Equipo de combustión nuevo.

El instalado por primera vez, por sustitución de un equipo existente o aprobado para su instalación por la autoridad competente para su instalación, en fecha posterior a la publicación de la presente norma oficial mexicana.

- Medición puntual.

La que se realiza en un tiempo no mayor a 5 minutos y el análisis se efectúa al mismo tiempo o dentro de los siguientes 60 minutos y en gráfico presenta discontinuidad.

- Medición continua.

La que se realiza sostenidamente en un período de tiempo no menor a 60 minutos y su gráfico no presenta discontinuidad. El resultado de la medición continua es el promedio del período muestreado.

- Número de mancha.

El valor adimensional que se obtiene de comparar la mancha producto del paso de gas de combustión por un papel filtro con las tonalidades de la escala patrón equivalente.

- Operación de arranque del equipo de combustión.

El inicio de operación de los procesos de combustión.

- Operación de soplado.

El limpiado de hollín de los tubos de una caldera acuotubular mediante la inyección de aire, vapor u otro fluido a presión.

- Reparación o modificación mayor.

La que requiera un gasto de capital de cuando menos el 50% del costo de reposición de un equipo nuevo de igual capacidad.

- Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El área integrada por las 16 Delegaciones Políticas del Distrito Federal y los siguientes 17 municipios del Estado de México: Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán de Romero Rubio, Cuautitlán Izcalli, Chalco de Covarrubias, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, San Vicente Chicoloapan, Nicolás Romero, Tecámac, Tlalnepantla y Tultitlán.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y humo de los equipos de combustión de las fuentes fijas de esta norma oficial mexicana, son los establecidos en la siguientes tablas 1 y 2:

TABLA 1. EQUIPO EXISTENTE

CAPACIDAD	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	DENSIDAD DE HUMO	PARTICULAS (PST) mg/m <sup>3</sup> (1)			DIOXIDO DE AZUFRE (ppm v) (1)			OXIDOS DE NITROGENO (ppm v) (1)			CO (ppm v) (2)
		NUMERO DE MANCHA U OPACIDAD	ZONAS CRITICAS			ZONAS CRITICAS			ZONAS CRITICAS			
			RP	ZMCM	OTRAS	RP	ZMCM	OTRAS	RP	ZMCM	OTRAS	
HASTA 5,250 MJ/hr (150 C.C.)	COMBUSTIBLE / GASOLEO	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	250
	OTROS LIQUIDOS	5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	GASEOSOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
DE : 5,251 A 43,000 MJ/hr (151 A 1,200 C.C.)	LIQUIDOS	NA	100	300	400	1,100	1,650	2,600	150	200	270	400
	GASEOSOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	130	150	180	
DE: 43,001 A 110,000 MJ/hr (1,201 A 3,100 C.C.)	LIQUIDOS	NA	70	250	350	1,000	1,600	2,500	140	180	250	400
	GASEOSOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	120	140	180	
MAYOR DE 110,000 MJ/hr (3,100 C.C.)	LIQUIDOS	10% (3)	70	200	300	800	1,200	2,200	130	150	230	400
	GASEOSOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100	130	150	

TABLA 2. EQUIPO DE NUEVA INSTALACION

HASTA 43,000 MJ/hr (1200 C.C.)	CUALQUIER TIPO DE COMBUSTIBLE	DEBEN CUMPLIR CON LOS LIMITES INDICADOS EN LA TABLA 1 PARA LA ZMCM Y CONTAR CON TECNOLOGIA DE BAJA EMISION DE OXIDOS DE NITROGENO									350	
MAYORES DE: 43,000 MJ/hr (1,200 C.C.)	LIQUIDOS	10% (3)	50	150	250	400	400	1,500	100	140	200	350
	GASEOSOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	75	100	130	
REPARACION MAYOR O RECONVERSION DE EQUIPOS EXISTENTES		DEBERAN CUMPLIR CON LOS LIMITES INDICADOS EN LA TABLA 1 PARA LA ZMCM E INTRODUCIR TECNOLOGIA DE BAJA EMISION DE OXIDOS DE NITROGENO										

NOTAS: (1) CONCENTRACIONES REFERIDAS A 25 °C, 760 mm de Hg, 6% DE OXIGENO EN VOLUMEN Y BASE SECA, CON LA FORMULA SIGUIENTE:  $F = 16 / (21 - O_2)$  (medido)

(2) CONCENTRACIONES REFERIDAS A CONDICIONES DE OPERACION  
(3) % DE OPACIDAD

RP: ZONAS DEL RESTO DEL PAIS.

ZMCM: ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO.

NA: NO APLICA



Para los efectos de esta norma oficial mexicana, se consideran zonas críticas por las altas concentraciones de contaminantes de la atmósfera que registran, las siguientes:

Las Zonas Metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, los centros de población de: Coatzacoalcos-Minatitlán, Estado de Veracruz; Irapuato-Celaya-Salamanca, Estado de Hidalgo; Corredor Industrial de Tampico-Madero-Altamira, Estado de Tamaulipas y la zona fronteriza norte.

Los equipos de combustión considerados en la tabla 1 con capacidad hasta 5,250 Nj/h (150 cc) deberán operar con un contenido de oxígeno menor a 6.3% para el caso de combustible gaseoso y menor de 10.5% para combustible líquido, mismos que deberán medirse de acuerdo a las especificaciones técnicas contenidas en la norma mexicana NMX-AA-114.

La operación de soplado que se requiere en los equipos de combustión de procesos continuos, que utilicen combustibles líquidos, deberá efectuarse con una frecuencia de por lo menos una vez por turno, cada ocho horas, o de acuerdo a las especificaciones del fabricante. El tiempo de soplado no deberá exceder de 25 minutos.

Cuando en un mismo equipo de combustión, ubicado fuera de la Ciudad de México, se utilice combinación de combustibles líquidos y gaseosos, la emisión de la fuente podrá compararse con los niveles máximos permisibles indicados en la tabla 1, para los combustibles líquidos.

Cuando existan dos o más equipos de combustión dentro de un mismo predio que utilicen en forma independiente combustibles líquidos o gaseosos y que estén ubicados fuera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, podrán tomar para comparación con la tabla 1, la concentración ponderada, referida al equipo de combustión de capacidad mayor en el predio y tomar como máximo permisible la correspondiente a combustibles líquidos como sigue:

*Ecuación de Ponderación:*

$$C_p = \frac{Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + \dots + Q_n C_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}$$

Donde:

$C_p$  = Concentración ponderada a 760 mmHg, 25°C, B.S. y 5% en volumen de oxígeno expresada en  $\text{mg}/\text{m}^3$  para el caso de partículas o ppmv para contaminantes gaseosos. Valor a comparar con los niveles máximos permisibles de la tabla 1 correspondientes a combustibles líquidos.

$Q$  = Gasto volumétrico en cada fuente, expresado en  $\text{m}^3/\text{min}$  a 760 mmHg, 25°C, B.S. y 5% en volumen de oxígeno.

C = Concentración determinada en cada fuente a 760 mmHg, 25°C, B.S. y 5% en volumen de oxígeno expresada en  $\text{mg}/\text{m}^3$  para partículas o ppmv para contaminantes gaseosos.

1,2..n= Número de fuentes existentes en un mismo predio propiedad de la empresa.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de neblinas de ácido sulfúrico para equipos de combustión con capacidad térmica de 5,250 Mj/h (150 cc) y mayores que utilizan combustibles fósiles líquidos y gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, son los establecidos en la siguiente tabla No. 3:

**TABLA No. 3**

**NIVEL MAXIMO PERMISIBLE DE ACIDO SULFURICO**

ZONAS		$\text{mg}/\text{m}^3$ (a)
ZONAS CRITICAS	ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO	40
	OTRAS	60
RESTO DEL PAIS		90
( a ) Concentración referida a condiciones de 198°K ( 25°C ), 101,325 pascales ( 760 mmHg ) base seca y 5% en volumen de O <sub>2</sub>		

Los responsables de los equipos de combustión de las fuentes fijas referidas en esta norma oficial mexicana deben observar los siguientes requisitos de operación:

- Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de los equipos de combustión, medición y análisis de las emisiones.
  
- La medición y análisis de las emisiones deben realizarse con la frecuencia y métodos que se indican en la tabla No. 4:

TABLA No. 4

## MEDICION Y ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTION MJ/h ( CC )	PARAMETRO	FRECUENCIA MINIMA DE MEDICION	TIPO DE MEDICION	TIPO DE COMBUSTIBLE
HASTA 5,250 MJ/h ( 150 CC )	DENSIDAD DE HUMO	1 VEZ CADA 3 MESES	PUNTUAL ( 3 MUESTRAS ) MANCHA DE HOLLIN	LIQUIDOS
	CO	1 VEZ CADA 3 MESES	CONTINUA ( MINIMO POR 45 MIN ) CELDA ELECTROQUIMICA O EQUIVALENTE (1)	LIQUIDOS Y GASEOSOS
	( CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> )	1 VEZ POR SEMANA	PUNTUAL ( 3 MUESTRAS ) ORSAT O EQUIVALENTE (2)	LIQUIDOS Y GASEOSOS
DE: 5,251 A 43,000 MJ/h ( 151 A 1,200 CC )	PARTICULAS TOTALES Y NEBLINAS DE ACIDO SULFURICO	UNA VEZ POR AÑO	ISOCINETICO ( MINIMO POR 60 MIN ) (3), 2 MUESTRAS DEFINITIVAS	LIQUIDOS
	NO <sub>x</sub>	UNA VEZ POR AÑO	CONTINUA ( MINIMO POR 45 MIN ) QUIMILUMINISCENCIA O EQUIVALENTE	LIQUIDOS Y GASEOSOS
	SO <sub>2</sub>	UNA VEZ POR AÑO	PUNTUAL POR TORINO, INFRARROJO NO DISPERSIVO O EQUIVALENTE	LIQUIDOS
	CO	UNA VEZ POR MES	CONTINUA ( MINIMO POR 45 MIN ) INFRARROJO NO DISPERSIVO O ELECTROQUIMICO	LIQUIDOS Y GASEOSOS
	( CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> )	DIARIO	PUNTUAL ( 3 MUESTRAS ) O EQUIVALENTE	LIQUIDOS Y GASEOSOS

TABLA 4 (continuación)

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTION MJ/h ( CC )	PARAMETRO	FRECUENCIA MINIMA DE MEDICION	TIPO DE MEDICION	TIPO DE COMBUSTIBLE
DE: 43,001 A 110,000 MJ/h ( 1,201 A 3,100 CC )	PARTICULAS TOTALES Y NEBLINAS DE ACIDO SULFURICO	UNA VEZ POR AÑO	ISOCINETICO ( MINIMO POR 60 MIN ), 2 MUESTRAS DEFINITIVAS	LIQUIDOS
	NO <sub>x</sub>	UNA VEZ CADA 6 MESES	CONTINUO ( MINIMO POR 45 MIN ) QUIMILUMINISCENCIA O EQUIVALENTE	LIQUIDOS Y GASEOSOS
	SO <sub>2</sub>	UNA VEZ POR AÑO	PUNTUAL POR TORINO, INFRARROJO NO DISPERSIVO O EQUIVALENTE	LIQUIDOS
	CO	UNA VEZ POR MES	CONTINUO ( MINIMO POR 45 MIN ) INFRARROJO NO DISPERSIVO O ELECTROQUIMICO	LIQUIDOS Y GASEOSOS
	EXCESO DE AIRE ( CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> )	UNA VEZ POR TURNO	PUNTUAL ( 3 MUESTRAS ) ORSAT O EQUIVALENTE ( 2 )	LIQUIDOS Y GASEOSOS
MAYOR DE: 110,000 MJ/h ( 3,100 CC )	PARTICULAS TOTALES Y NEBLINAS DE ACIDO SULFURICO	UNA VEZ CADA 6 MESES	ISOCINETICO ( MINIMO POR 60 MIN ), 2 MUESTRAS DEFINITIVAS	LIQUIDOS
	OPACIDAD	PERMANENTE	CONTINUA OPACIMETRO CON REGISTRADOR COMO MINIMO	LIQUIDOS
	NO <sub>x</sub>	PERMANENTE	CONTINUO QUIMILUMINISCENCIA CON REGISTRADOR COMO MINIMO	LIQUIDOS Y GASEOSOS
	SO <sub>2</sub>	PERMANENTE	CONTINUA INFRARROJO NO DISPERSIVO, ULTRAVIOLETA O EQUIVALENTE CON REGISTRADOR COMO MINIMO	LIQUIDOS
	CO	PERMANENTE	CONTINUO INFRARROJO NO DISPERSIVO O EQUIVALENTE CON REGISTRADOR COMO MINIMO	LIQUIDOS Y GASEOSOS
	O <sub>2</sub>	PERMANENTE	CONTINUA CAMPO MAGNETICO O EQUIVALENTE CON REGISTRADOR COMO MINIMO	LIQUIDOS Y GASEOSOS

## NOTAS:

(1) Los métodos equivalentes a que se refiere la tabla 4 tendrán que ser los siguientes:

CONTAMINANTE	METODO DE MEDICION	METODO EQUIVALENTE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ISOCINETICO</li> <li>* HUELLA DE HOLLIN</li> <li>* OPACIDAD</li> </ul>	
OXIDOS DE NITROGENO	* QUINILUMINISCENCIA	* INFRARROJO NO DISPERSIVO
OXIDOS DE AZUFRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>* VIA HUMEDA (TORIN)</li> <li>* INFRARROJO NO DISPERSIVO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* FLUORESCENCIA PULSANTE</li> <li>* ULTRAVIOLETA</li> </ul>
MONOXIDO DE CARBONO	<ul style="list-style-type: none"> <li>* INFRARROJO NO DISPERSIVO</li> <li>* CELDAS ELECTROQUIMICAS</li> </ul>	
BIOXIDO DE CARBONO	<ul style="list-style-type: none"> <li>* INFRARROJO NO DISPERSIVO</li> <li>* CELDAS ELECTROQUIMICAS</li> </ul>	* ORSAT (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> Y CO)
OXIGENO	<ul style="list-style-type: none"> <li>* CELDAS ELECTROQUIMICAS</li> <li>* PARAMAGNETICOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ORSAT (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> Y CO)</li> <li>* OXIDOS DE ZIRCONIO (CELDAS ELECTROQUIMICAS)</li> </ul>

(2) El análisis tipo Fyrite (vía húmeda) sólo es válido para propósitos de la determinación del peso molecular.

(3) El análisis de neblinas de ácido sulfúrico se lleva a cabo de acuerdo al método de vía húmeda con torino.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera establecidos en las tablas 1 y 2 de la presente norma oficial mexicana, sólo podrán rebasarse en el caso de:

- Operaciones de arranque del equipo de combustión, siempre que no excedan a periodos mayores de 15 minutos y no se repita la operación más de dos veces al día.
- Operación de soplado, siempre y cuando se ajuste a lo establecido anteriormente.

Los combustibles líquidos y gaseosos utilizados en equipos de combustión con capacidad térmica hasta 5,250 megajoules por hora ó 150 caballos caldera en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, deben tener un contenido de azufre menor del 2% en peso.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas, óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y humo deben utilizarse los procedimientos establecidos en las normas mexicanas correspondientes o en su caso los que establezca la autoridad competente.

Cuando por una chimenea confluyan otras corrientes gaseosas para ser descargadas a la atmósfera conjuntamente con las generadas por las de combustión, la medición de las emisiones deberá realizarse por separado.

En el caso de que no se cuente con las especificaciones sobre la capacidad térmica del equipo de combustión, ésta se determina mediante la siguiente ecuación:



$$HT = Hc * V$$

Donde:

HT = Capacidad térmica del equipo de combustión, expresada en megajoules por hora (Mj/h).

Hc = Poder calorífico del combustible empleado, expresado en megajoules por kilogramo (Mj/kg)

V = Consumo de combustible, expresado en kilogramos por hora (kg/h).

Para esta NOM se consideran los poderes caloríficos indicados en la siguiente TABLA No.5:

**PODER CALORIFICO**

<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>MJ/kg combustible</b>
Gas natural	52
Gas L.P.	48
Butano	49
Propano	50
Butileno	49
Propileno	49
Metano	55
Petróleo diáfano	46
Gasolina	47
Diesel	48
Gasóleo	42
Combustóleo pesado	42
Combustóleo ligero	43

$$HT = Hc * V$$

Donde:

HT = Capacidad térmica del equipo de combustión, expresada en megajoules por hora (Mj/h).

Hc = Poder calorífico del combustible empleado, expresado en megajoules por kilogramo (Mj/kg)

V = Consumo de combustible, expresado en kilogramos por hora (kg/h).

Para esta NOM se consideran los poderes caloríficos indicados en la siguiente TABLA No.5:

PODER CALORIFICO

COMBUSTIBLE	MJ/kg combustible
Gas natural	52
Gas L.P.	48
Butano	49
Propano	50
Butileno	49
Propileno	49
Metano	55
Petróleo diáfano	46
Gasolina	47
Diesel	48
Gasóleo	42
Combustóleo pesado	42
Combustóleo ligero	43

Para la vigilancia de esta NOM, la Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, así como de los Gobiernos del Distrito Federal, de las entidades federativas, y en su caso, de los municipios, se encargarán de vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

El incumplimiento de la presente NOM, será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y los demás ordenamientos jurídicos que resulten aplicables.

La vigencia de esta NOM de carácter emergente, será de seis meses y entró en vigor al día 19 de noviembre de 1993) en el Diario Oficial de la Federación.

Esta norma oficial mexicana fué expedida por primera vez con carácter emergente con la clave NOM-PA-CCAT-019/93 (NE), el 30 de marzo de 1993 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de abril del mismo año. Su vigencia fué de seis meses y ahora ha sido substituída por la NOM-CCAT-019-ECOL/1993, también con carácter emergente que estará en vigor hasta el 19 de Mayo de 1994.

DESCRIPCION DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCAT-006-ECOL/1993.

Esta norma oficial mexicana, establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las fuentes fijas que emitan partículas sólidas a la atmósfera, con la excepción de las que se rigen por normas oficiales mexicanas específicas.

Entre las definiciones que debemos manejar para la mejor comprensión de esta norma están:

- Flujo de gases: la cantidad de gases que fluye por un conducto por unidad de tiempo;
- Zona Metropolitana de la Ciudad de México: definida en la NOM-CCAT-019-ECOL/93.

Para efectos de esta norma se consideran como zonas críticas por las altas concentraciones de contaminantes de la atmósfera que registran, las siguientes: las Zonas Metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, los centros de población de Coatzacoalcos-Minatitlán, Estado de Veracruz; Irapuato-Celaya-Salamanca, Estado de Guanajuato, Tula-Vito-Apasco, Estados de Hidalgo y

de México; Corredor Industrial de Tampico-Madero-Altamira, Estado de Tamaulipas y la zona fronteriza norte.

Los niveles máximos de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de las fuentes fijas a que se refiere el párrafo anterior, de acuerdo con el flujo de gases son los que se establecen en la siguiente tabla:

**NIVELES MAXIMOS PERMSIBLES DE EMISION DE PARTICULAS SOLIDAS**

<b>FLUJO DE GASES EN LA FUENTE m<sup>3</sup>/min.</b>	<b>ZONAS CRITICAS mg/m<sup>3</sup></b>	<b>RESTO DEL PAIS mg/m<sup>3</sup></b>
5	1536	2304
10	1148	1722
20	858	1287
30	724	1086
40	641	962
50	584	876
60	541	811
100	437	655
200	326	489
500	222	333
800	182	273
1000	166	249
3000	105	157
5000	84	127
8000	69	104
10000	63	95
20000	47	71
30000	40	60
50000	32	48

La interpolación y la extrapolación de los datos no contenidos en la tabla para zonas críticas, está dada por las ecuaciones siguientes:

Para zonas críticas:

$$E = \frac{3020}{C^{0.42}}$$

Para el resto del país:

$$E = \frac{4529.7}{C^{0.42}}$$

Donde:

E = nivel máximo permisible en miligramos por metro cúbico normal

C = Flujo de gases en la fuente en metros cúbicos normales por minuto

La emisión está referida a condiciones normales de temperatura 298 K (25 °C) y presión de 101,325 Pa (760 mmHg), base seca.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas sólidas a la atmósfera, deberán utilizarse los

procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas respectivas.

La Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, los Gobiernos del Distrito Federal, de las entidades federativas y, en su caso, de los municipios, en sus respectivas jurisdicciones, son las autoridades competentes para vigilar el cumplimiento de la siguiente norma oficial mexicana.

El incumplimiento de esta norma, será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

Esta norma entró en vigor a partir del 23 de octubre de 1993, y se abroga el acuerdo por el cual se expidió la NTE-009/88.

## CAPITULO II

**DETERMINACION DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES  
ATMOSFERICOS EN UNA PLANTA FARMACUTICA**

**2.1.- Diagrama de flujo de procesos y servicios.**

Una industria farmacéutica requiere, para la elaboración de los medicamentos, de diferentes procesos productivos y de servicios para la manufactura de formas farmacéuticas que cumplan con las especificaciones de calidad requeridas por el mercado.

Fuentes fijas de emisión en una Planta farmacéutica	Servicios (agua, vapor, aire comprimido, electricidad)
	Procesos productivos

Como primer paso para la localización de los puntos de emisión y la identificación de los contaminantes que se generan a la atmósfera, es necesario hacer un análisis de los diagramas de flujo tanto de los procesos de producción como de los servicios que dichos procesos utilizan durante la manufactura de las formas farmacéuticas.



La finalidad de lo anterior es obtener gráficamente y de manera sencilla la localización de los puntos de emisión, señalando además el tipo de contaminante generado (partículas, gases, vapores, humos, etc.)

### SERVICIOS

Se empezará analizando los procesos mediante los cuales se generan los diferentes servicios que demanda una industria farmacéutica.

Dentro del presente trabajo se mencionarán las generalidades de los servicios empleados en la industria farmacéutica para finalmente adentrarnos en el inventario de emisiones generado por esta industria.

**AGUA.**- es uno de los servicios más utilizados para la producción de las diferentes formas farmacéuticas (tabletas, grageas, jarabes, suspensiones, ampollitas, etc.). Se requieren principalmente dos calidades de agua; agua deionizada y destilada, además del agua potable obtenida de la red municipal y a partir de la cual se obtienen los dos tipos de agua anteriormente mencionados. A continuación se describen brevemente los procesos de purificación del agua potable para poder disponer de agua con las calidades requeridas.

La deionización consiste en tratar el agua con resinas de intercambio iónico, las cuales remueven iones como calcio, magnesio, sodio, potasio (intercambio catiónico), carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos (intercambio aniónico) produciendo agua purificada o deionizada.

El agua necesita de un pretratamiento para entrar al sistema deionizador para eliminar partículas, cloro, partículas orgánicas y así mejorar la vida de las resinas. Es por esto que es necesario la utilización primeramente de un filtro de arena con el cual se eliminan partículas, bacterias, arcilla finamente dividida, material coloidal y toda materia en suspensión que puedan contaminar las resinas y bajar por consiguiente su capacidad de intercambio. Después tenemos a un sistema clorador, para desinfección, oxidación del material orgánico, control de sabor y color, eliminación de sulfuro de hidrógeno, eliminación de fierro y manganeso, control de algas y eliminación de amoníaco. Enseguida el agua se pasa por un filtro de carbón activado, para eliminar todo el cloro residual así como hidrocarburos de bajo peso molecular. (Ver fig. 2.1).

Es importante señalar que se utilizan pequeñas bombas de combustión interna como requisito alterno para casos de emergencia. Es decir, en caso de que exista una falla en el suministro de electricidad, para evitar que la planta quede desprovista de agua como materia prima y para el combate de fuego.

Debemos señalar, que estas bombas no se sujetan a la normatividad existente en materia de contaminación atmosférica, debido a que su uso es en casos extraordinarios. Solamente se les proporciona mantenimiento para estar bien carburadas.

El agua destilada es producida separando sus impurezas (minerales, materia orgánica, gases y microorganismos) por evaporación bajo condiciones controladas y luego condensando el vapor de agua pura. El agua que entra a un destilador debe ser deionizada de acuerdo con lo descrito anteriormente. (Ver fig. 2.2).

**VAPOR.**- otro servicio de gran demanda es el vapor. Este se utiliza para el calentamiento de tanques de mezcla (marmitas) y autoclaves para esterilizar con calor húmedo. Para la obtención de este servicio se requiere de equipos de combustión interna como son calderas y generadores de vapor, los cuales utilizan combustibles como diesel, gasóleo y gas L.P. El proceso de obtención consiste en el calentamiento de agua previamente desmineralizada o suavizada (eliminación de iones calcio y magnesio por sodio) en un recipiente cerrado, en el cual, por medio del calor que produce la combustión de un combustible precalentado (por ejemplo en el diesel y combustóleo) se genera vapor. Además de éste principal producto, se obtienen gases de combustión y además de partículas dependiendo del tipo de combustible utilizado. Estas emisiones se encuentran actualmente normadas,

estableciéndose los límites máximos permisibles de emisión. (Ver fig. 2.3).

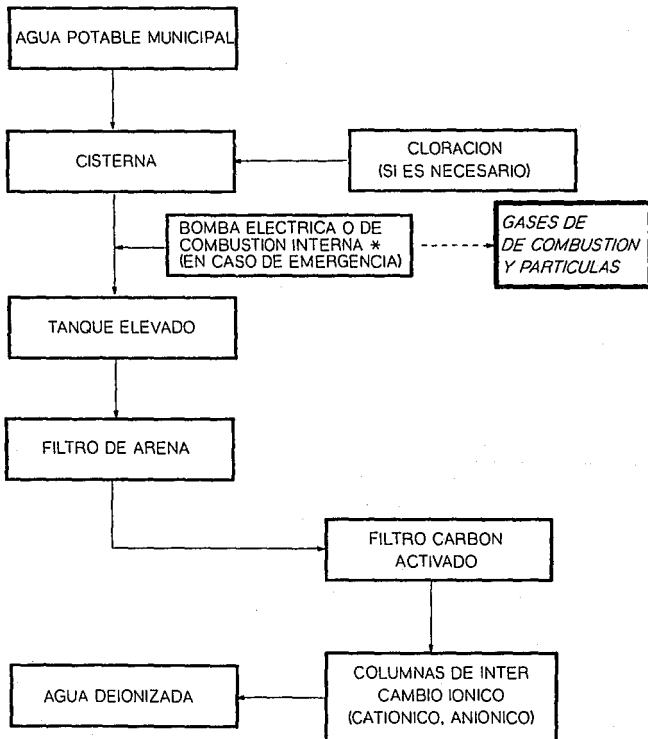
**AIRE COMPRIMIDO.**- es utilizado para la operación de equipos e instrumentos neumáticos en laboratorios. Se obtiene mediante un compresor y un sistema sencillo de purificación, que consiste en una serie de equipos para eliminar agua, aceite y partículas principalmente. (Ver fig. 2.4).

**ENERGIA ELECTRICA.**- es obtenida del servicio municipal colocándose en el interior de las empresas una subestación eléctrica la cual realiza la transformación de la energía para dar uso industrial. En caso de falta de suministro, las empresas cuentan con plantas de generación de electricidad de emergencia las cuales utilizan motores de combustión interna que generan la energía eléctrica para que los procesos productivos no se paren. (Ver fig. 2.5).

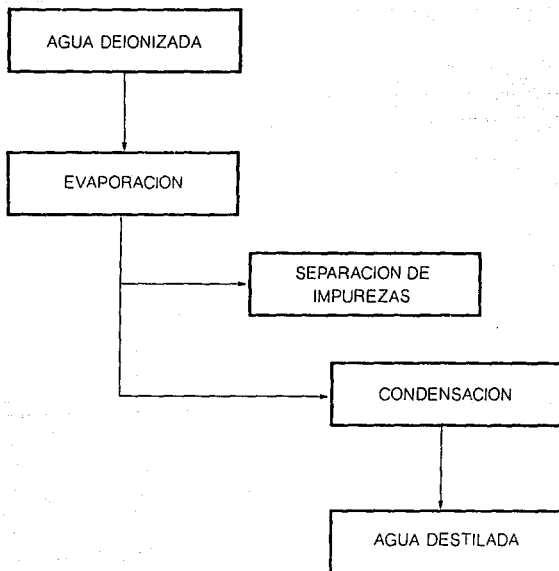
En este otro caso, estos motores de combustión interna, tampoco son sujetos a la normatividad actual, ya que su poco uso implicaría una emisión de contaminantes atmosféricos muy esporádica, por lo cual solo requieren de una buena carburación.

Finalmente se requiere de gas licuado y combustible líquido (diesel), los cuales son abastecidos directamente en la planta.

**FIG. 2.1 PRODUCCION AGUA DEIONIZADA**

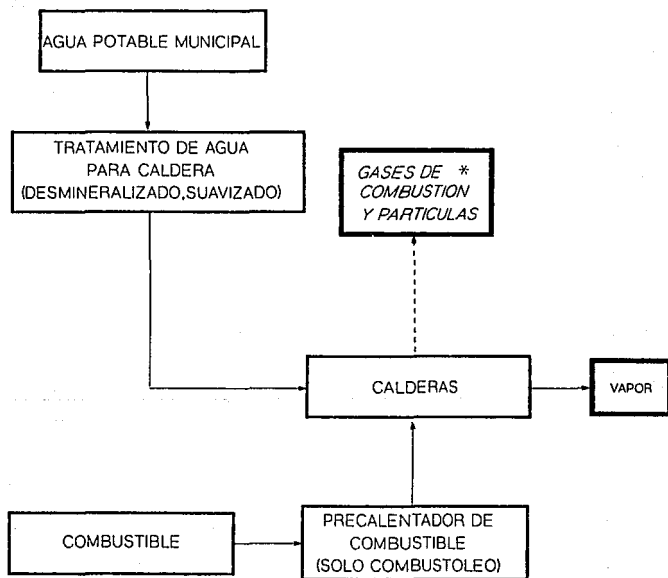


\* PARA ESTAS EMISIONES ATMOSFERICAS NO APLICA LA NORMATIVIDAD ACTUAL DEBIDO A SU USO EVENTUAL.

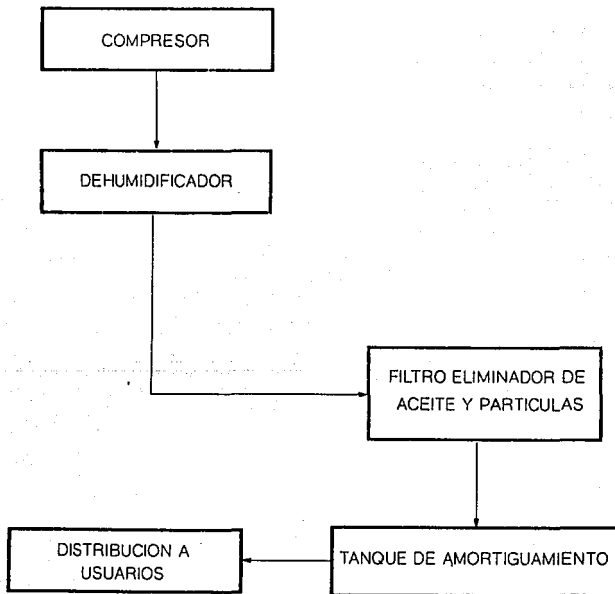
**FIG. 2.2 PRODUCCION AGUA DESTILADA**

NOTA: NO SE TIENE EMISION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

**FIG. 2.3 GENERACION DE VAPOR**



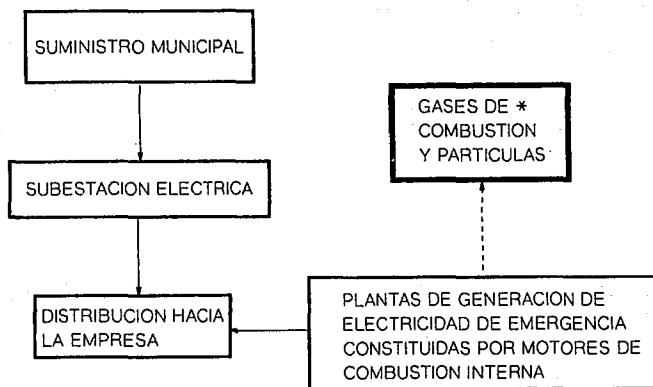
\* LOS GASES EMITIDOS PUEDEN SER: CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> Y PARTICULAS DE HOLLIN PARA EL DIESEL, COMBUSTOLEO Y GASOLEO.  
 PARA EL GAS NATURAL Y L.P SE EMITEN: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> Y HOLLIN.  
 NOM-CCAT-019-ECOL/93 (NE)

**FIG. 2.4 PRODUCCION AIRE COMPRIMIDO**

NOTA: NO SE TIENE EMISION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS



FIG. 2.5 ENERGIA ELECTRICA



\* PARA ESTE TIPO DE EMISIONES ATMOSFERICAS NO APLICA LA NORMATIVIDAD ACTUAL DEBIDO A SU USO EVENTUAL.

**PROCESOS INDUSTRIALES**

Para poder describir los procesos productivos, es necesario mencionar primeramente las formas farmacéuticas tanto sólidas como líquidas más comúnmente elaboradas por la industria farmacéutica:

- Granulados
- Tabletas
- Sólidas Grageas
- Cápsulas
  
- Ampolletas
- Líquidas Jarabes
- Suspensiones

**GRANULADOS Y TABLETAS**

Dentro de las formas farmacéuticas sólidas contamos con dos que se encuentran íntimamente relacionadas; el granulado y la tableta, ya que a partir del primero se genera la segunda forma farmacéutica, mediante un método llamado granulación por vía húmeda. Aunque sabemos que existe otro método de elaboración de tabletas, conocido como compresión directa (vía seca).

### GRANULADO

DEFINICION: Sólido de tamaño y forma irregular. Se obtiene por aglutinación o acreción de la partículas de un polvo, que contiene el o los principios activos y aditivos.

(Ref. FEUM 5a ed. 1988 pp. 46)

Por lo tanto, en su elaboración el ingrediente activo, el diluyente y el agente desintegrante son mezclados primero. La mezcla se convierte en una masa húmeda coherente con la adición de una solución aglutinante. Entonces se forman gránulos por el paso de la masa húmeda a través de la malla del granulador. Una vez obtenido el granulado, el cual se encuentra húmedo tiene que ser secado en un horno de lecho fijo o en un sistema de lecho fluidizado. Los gránulos secos son tamizados rompiéndose los aglomerados. (Ver fig. 2.6)

### COMPRIMIDOS (TABLETA)

DEFINICION: Sólido obtenido por compresión o moldeo, que incluye al o los principios activos y aditivos.

(Ref. FEUM 5a ed. 1988 pp. 46)

Después de haber obtenido el tamizado de los gránulos secos, se mezcla con el deslizante y el lubricante. Entonces esta mezcla ya está lista para la compresión, y obtener así las tabletas por vía húmeda. (Ver fig. 2.6).

La elaboración de tabletas por el método de compresión directa consiste de dos etapas de mezclado. Primero, el ingrediente activo, el diluyente, el aglutinante y el agente desintegrante son mezclados. Después se adiciona el lubricante o deslizante y se mezcla por segunda vez. Esta mezcla ahora está lista también para la compresión. (Ver fig. 2.7).

Como podemos observar en ambos métodos de elaboración de tabletas, además de obtener una tableta como producto final, tenemos la generación de partículas de polvo. Estas emisiones deberán estar sujetas a la normatividad actual en materia de contaminación atmosférica.

#### **GRAGEA**

**DEFINICION:** Tableta o comprimido recubierto con azúcar u otros aditivos.

(Ref. FEUM 5a ed. 1988 pp. 46)

Describiremos el proceso de elaboración de una gragea por el método convencional (recubrimiento con azúcar), el cual consta de cinco etapas; a) Primero se aplica una cubierta de sellado. Esta etapa proporciona al núcleo (tableta) impermeabilización al agua, dureza a su superficie y base firme no porosa para sus cubiertas posteriores. Se aplican las sustancias selladoras en solución alcohólica. b) La segunda etapa está compuesta por una cubierta de polvos

conocida también como redondeo. En esta etapa se redondean los bordes del núcleo y además sirve para dar el volumen requerido a la gragea, y además de amortiguador para evitar que las capas sucesivas se rompan. En esta etapa se emplean jarabes viscosos que se aplican sobre la cubierta de sellado conjuntamente con polvos adsorbentes, que al adherirse a las capas de jarabe incrementan el volumen del núcleo y ayudan al secado del recubrimiento evitando la adherencia permanente entre los núcleos. c) Alisado; en esta etapa se mejora la superficie del núcleo redondeado, para lograr un máximo de tersura y dejar una base para aplicar el color. Se utilizan una suspensión de jarabe simple de azúcar 70% peso/peso opacificante que por lo general es el dióxido de titanio. d) Cubierta de color, la cual le proporciona coloración al núcleo recubierto. El color es una característica útil para identificar y dar elegancia farmacéutica a la gragea. Se utilizan colorantes certificados en soluciones de jarabe simple. Las primeras aplicaciones se hacen en calor y las últimas se hacen con aire frío y a menor velocidad. Se seca volteando las grageas en el bombo con pequeños avances. Es una etapa crítica, ya que debe cuidarse de evitar la migración del color a la superficie "moteado". e) Pulido. Etapa final que imparte un brillo característico a la superficie lisa de la gragea, haciéndola atractiva. Para el pulido se emplean soluciones o dispersiones de ceras. Se pone a girar el bombo de lona y se aplican dichas soluciones, se tapa el bombo y se deja rodar, se destapa y se continúa rodando hasta que adquieran el brillo. (Ver fig. 2.8).

Observando este diagrama, nuevamente nos encontramos con la emisión de partículas de polvo, la cual deberá cumplir con los límites establecidos por las autoridades.

#### CAPSULA

DEFINICION: Contenedor sólido de gelatina que incluye al o los principios en forma de sólidos o líquidos, con o sin aditivos.

(Ref. FEUM 5a ed. 1988 pp. 46)

El proceso de las encapsuladoras está automatizado hoy en día, y la fabricación es muy sencilla ya que básicamente consiste en el llenado de una tolva con cápsulas vacías, las cuales pasan por una unidad de rectificación hasta el anillo contenedor de dos piezas. La rectificación está basada en diferencias dimensionales entre los diámetros externos de la cabeza y la porción del cuerpo de las cápsulas. En el anillo es aplicado un vacío por debajo con lo cual los cuerpos quedan retenidos en la pieza inferior, mientras que las cabezas al ser rotado el anillo quedan retenidas en la pieza superior. Por otro lado se llena otra tolva con polvos (principio activo y excipientes), los cuales son dosificados al ser rotada la pieza inferior y colocarse debajo de dicha tolva y girar un determinado número de veces hasta completar el volumen deseado. Una vez llenos los cuerpos, se juntan las dos piezas del anillo nuevamente, y éste se coloca enfrente

cápsula en la cabeza y una placa de cerrado, aprieta las cabezas en posición. Para la expulsión de las cápsulas, la presión es liberada y las cápsulas se expelen. (Ver fig. 2.9).

Durante el proceso de elaboración de cápsulas duras, podemos ver que se generan polvos. Esta emisión deberá cumplir con los límites máximos de emisión de partículas establecidos en la NOM-CCAT-006-ECOL/1993.

### **AMPOLLETAS**

**DEFINICION:** Mezcla homogénea transparente, que contiene disueltos el o los principios activos, envasados en un recipiente de vidrio en forma estéril.

Para la elaboración de esta forma farmacéutica se requiere de un área estéril, la cual tiene una carga microbiana casi nula, que se logra a través de un sistema de filtros HEPA con una eficiencia de 99.9%. Este es un sistema cerrado en el que se recircula todo el aire y además se colectan los polvos en colectores especiales, de donde después se recuperan dichos polvos. El proceso comienza con el lavado de las ampolletas que en un área limpia y utilizando soluciones jabonosas y agua deionizada. Por otro lado se preparan las soluciones y se filtran para eliminar la presencia de partículas visibles. Una vez filtrada la solución se procede a dosificar las ampolletas. El llenado y sellado con flama de las ampolletas

se lleva a cabo de una forma automatizada y en el área estéril. Después se envían a esterilizar las ampollitas en un autoclave y se realiza la prueba de hermeticidad. Se realiza la inspección óptica para verificar si no contienen partículas extrañas. Finalmente se etiquetan o se les imprime un sello. (Ver fig. 2.10).

### JARABE

DEFINICION: Solución acuosa que contiene un mínimo de 45 por ciento de sacarosa, u otros carbohidratos dulces y disueltos, el o los principios activos y aditivos.

(Ref. FEUM 5a ed. 1988 pp.46)

Para su elaboración, primero se disuelve el principio activo en un tanque de acero inoxidable con agua deionizada previamente filtrada, agregándose algunos excipientes paulatinamente. Por otra parte se prepara un jarabe simple agregando azúcar en un tanque enchaquetado conteniendo agua deionizada y filtrada. Se agita y se calienta con vapor para aumentar la solubilidad aprox. 36 °C. Asimismo, se disuelven los excipientes que necesitan calentamiento para solubilizarse. Una vez que esta solución alcanza nuevamente la temperatura ambiente, se añade el vehículo estructurado que contiene el principio activo, homogeneizando la solución mediante una agitación vertical o inclinada, mientras se lleva al aforo con más agua deionizada hasta completar el volumen del lote requerido. (Ver Fig. 2.11).



Es importante señalar que aquí tenemos nuevamente la emisión de partículas de polvo proveniente de una fuente fija, por lo cual se aplicará nuevamente la NOM-CCAT-006-ECOL/1993.

#### SUSPENSION

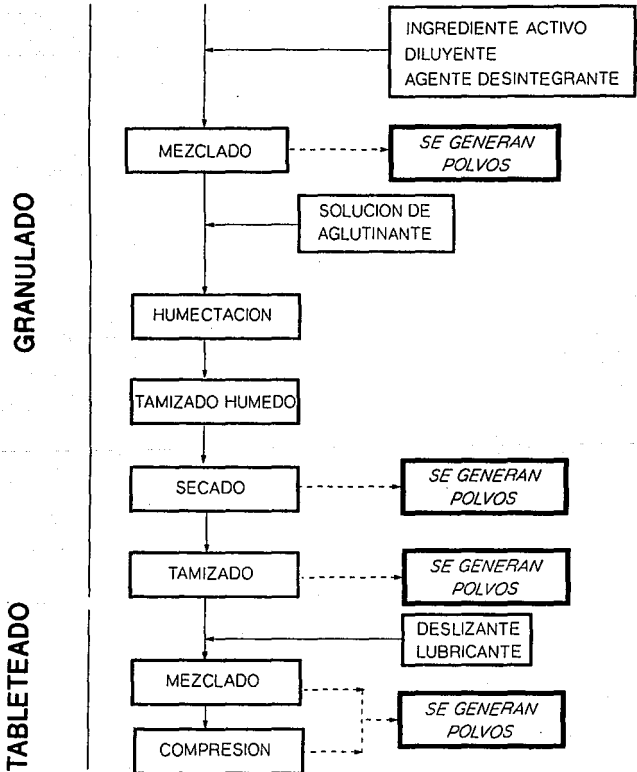
DEFINICION: Mezcla homogénea, que contiene suspendidos él 6 los principios activos y aditivos.

(Ref. FEUM 5a ed. 1988 pp. 47)

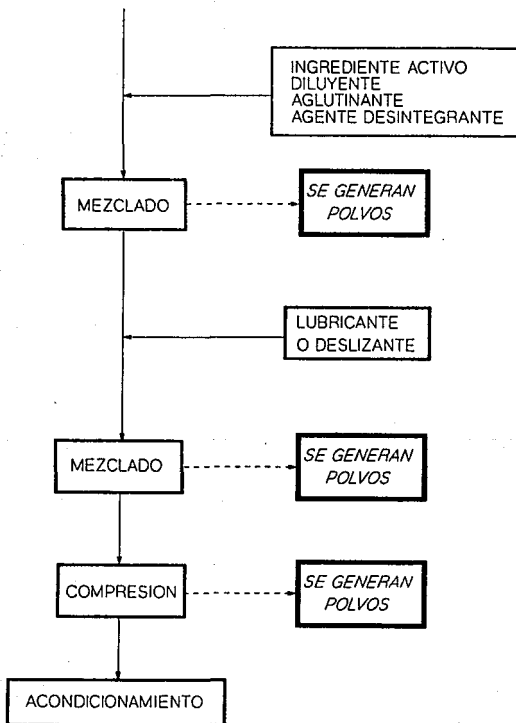
En el proceso de elaboración de una suspensión, primero se obtiene la fase dispersa (partículas) por trituración o micronización de los sólidos o tenemos como en la mayoría de los casos el principio activo y demás excipientes con el tamaño de partícula deseado. Una vez que se tienen las partículas del principio activo, se adicionan al agua deionizada contenida en un tanque de acero inoxidable y enseguida se adiciona un excipiente para humectar y permitir la dispersión de dicho principio. Esta mezcla se adiciona con agitación a otro tanque de acero inoxidable que contiene más agua deionizada, en la cual se encuentran los demás excipientes disueltos. Se homogeniza el tamaño de partícula de la suspensión haciéndola pasar a través de un molino coloidal. Después se afora el concentrado con más agua deionizada hasta completar el volumen deseado. Finalmente se envía el producto a través de ductos de acero inoxidable para envasarla. (Ver fig. 2.12).

La elaboración de una suspensión, es uno de los procesos en donde tenemos una gran generación de polvos y por lo tanto debemos aplicar la NOM-CCAT-006-ECOL/1993.

FIG. 2.6 GRANULADO POR VIA HUMEDA



**FIG. 2.7 TABLETAS POR COMPRESION DIRECTA  
(vía seca)**



**FIG. 2.8 ELABORACION DE GRAGEAS  
METODO CONVENCIONAL  
(Recubrimiento con azúcar)**

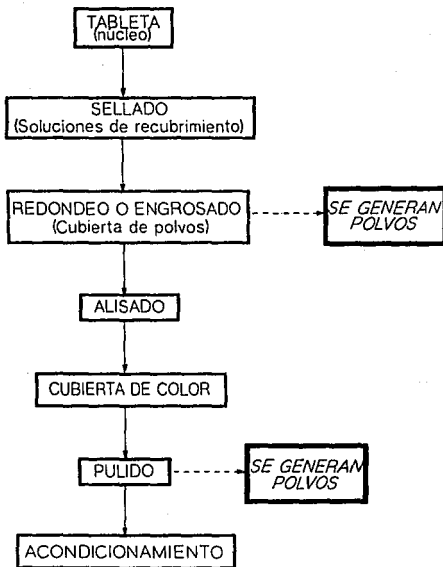
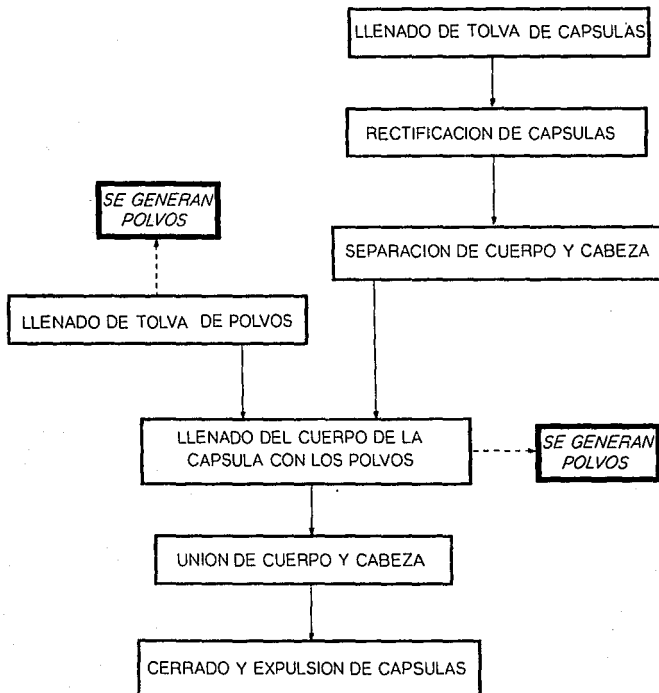
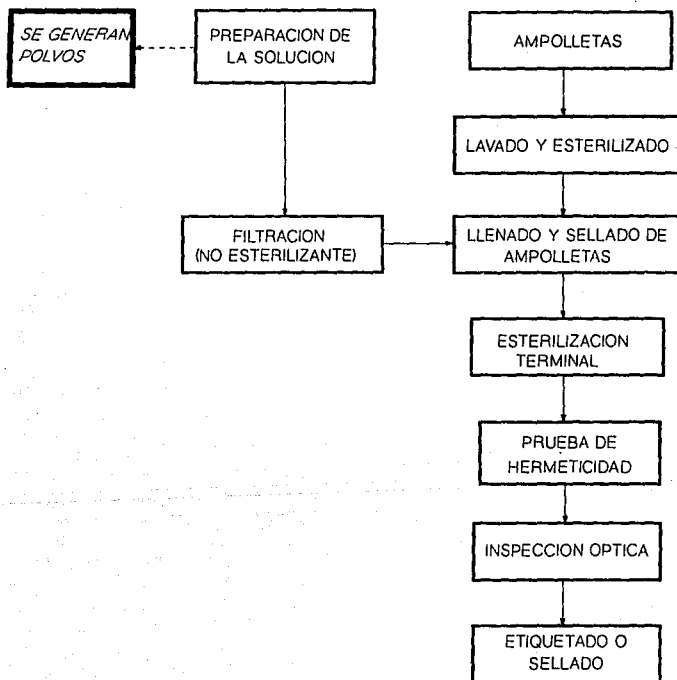


FIG. 2.9 ELABORACION DE CAPSULAS DE GELATINA DURA

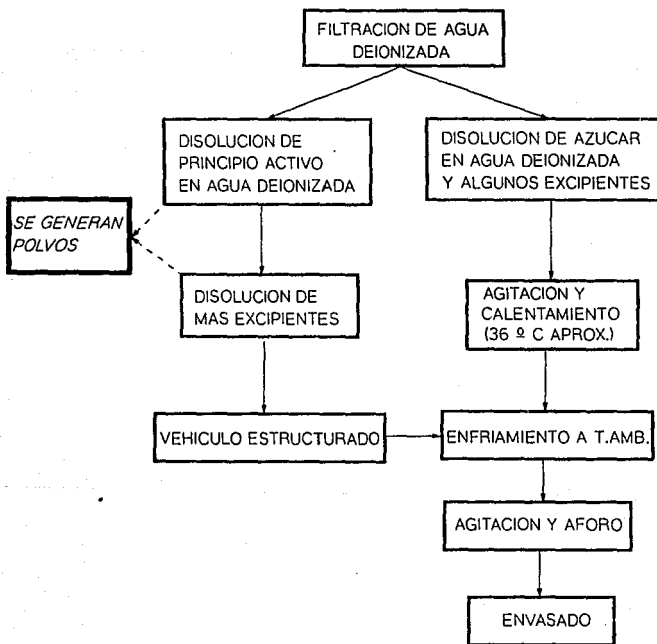


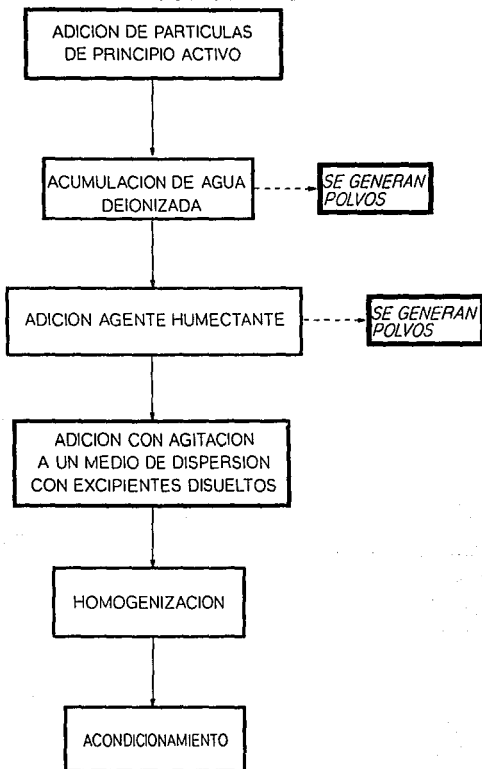
NOM-CCAT-006-ECOL/93 EMISION DE PARTICULAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS

**FIG. 2.10 PREPARACION DE AMPOLLETAS**

NOM-CCAT-006-ECOL/93 EMISION DE PARTICULAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS

FIG. 2.11 PREPARACION DE JARABES

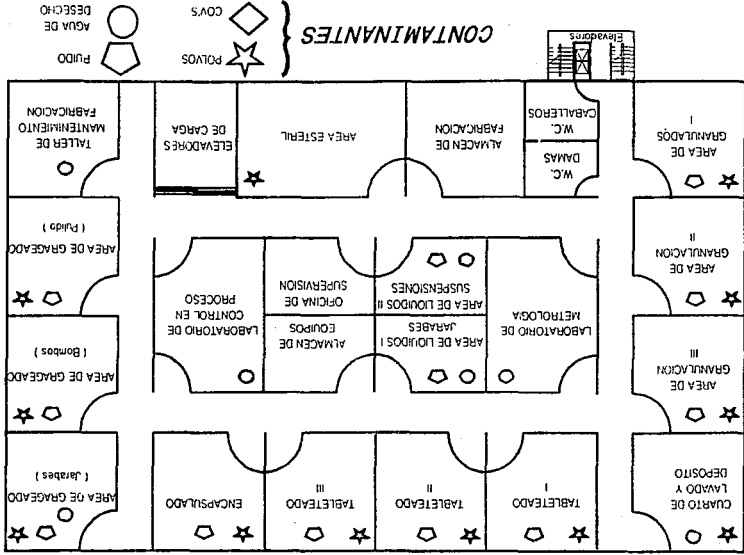


**FIG. 2.12 PREPARACION DE SUSPENSIONES**

NOM-CCAT-006-ECOL/93 EMISION DE PARTICULAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS



LAY - OUT DEL AREA DE PRODUCCION EN UNA PLANTA FARMACEUTICA



## 2.2.- Localización de las fuentes fijas en una industria farmacéutica.

Al elaborar un lay-out, de una planta farmacéutica, indicando el tipo de contaminantes que se generan en cada una de las áreas de producción, nos ayudará a visualizar en forma global los contaminantes que se están generando y que tenemos que controlar.

Con la elaboración de dicho lay-out, podremos visualizar rápidamente y de manera sencilla los problemas de generación de contaminantes que existen en cada planta farmacéutica en particular.

Es por eso que a continuación, se muestra un lay-out que ejemplifica como podemos detectar además de los contaminantes atmosféricos (polvos) otros como aguas de desecho, compuestos orgánicos volátiles (COV's) y ruido.

### 2.3.- Materias Primas utilizadas

Otra información necesaria para poder identificar completamente las emisiones atmosféricas obtenidas de los diferentes procesos productivos y servicios para la elaboración de una forma farmacéutica es enlistar y clasificar las materias primas que se utilizan en dichos procesos.

Las materias primas se pueden clasificar según la clave *CRETIB*, que se refiere a las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y de ser biológicamente infecciosa de las mismas.

Es por eso que en este trabajo se presenta a continuación una lista ejemplificando algunas materias primas utilizadas para la fabricación de las diferentes formas farmacéuticas más comunes dentro de la industria farmacéutica.

Es importante señalar que si adicionalmente se conoce el consumo de las materias primas se podrá estimar la emisión generada.

## MATERIAS PRIMAS COMUNES EN UNA INDUSTRIA FARMACEUTICA

CLAVE CRETÍ	NOMBRE COMERCIAL Y QUIMICO	FORMA FARMACEUTICA
N.T.	Agua	G, T, GRAG, C, J, S, A
N.T.	Lactosa	G, T, GRAG, C
N.T.	Celulosa microcristalina (Avicel)	G, T
N.T.	Fosfato dicálcico dihidratado (Emcompress <sup>R</sup> )	G, T
N.T.	Almidón (Primejel <sup>R</sup> )	G, T
N.T.	Hidroxipropilcelulosa	G, T
T	Talco	G, T
N.T.	Silica coloidal (Aerosil <sup>R</sup> )	G, T
N.T.	Estearato de magnesio	G, T
	Goma laca	GRAG
N.T.	Carbonato de calcio	GRAG
N.T.	Sacarosa en polvo	GRAG, J
N.T.	Caolín	GRAG
N.T.	Oxido de hierro rojo/amarillo	GRAG
N.T.	Cera de abeja	GRAG
N.T.	cápsula de gelatina dura	
N.T.	Manitol	
N.T.	Estearato de calcio	C
N.T.	Estearato de aluminio	C
N.T.	Sorbitol	
C	Mono, di y tri fenoles	J, S
N.T.	Acido ascórbico	J, S
N.T.	Mentol	J, S
N.T.	Vainillina	J, S
I	Alcohol bencílico	J, S
N.T.	Benzoato de sodio	
N.T.	Parabenos	J, S
N.T.	Gomas acacia, tragacanto	
N.T.	Pectina	J, S
N.T.	Bentonita	S
N.T.	Polisorbatos	S
N.T.	Buffer de fosfatos y citratos	
N.T.	Cloruro de sodio	S

## CLAVES:

C: corrosivo

R: reactivo

E: explosivo

T: tóxico

I: inflamable

B: biológicamente infecciosa

N.T.: no tóxico

A: ampollita

C: cápsula

G: granulado

GRAG: gragea

J: jarabe

S: suspensión

T: tableta

**CAPITULO III**  
**MONITOREO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS EN UNA PLANTA**  
**FARMACEUTICA**

Como ya mencionamos en el capítulo I, la normatividad actual que se debe aplicar para realizar un monitoreo de emisiones atmosféricas provenientes de una fuente fija incluye a la NOM-CCAT-019-ECOL/93 y la NOM-CCAT-006-ECOL/93 anteriormente revisadas.

En ambas normas se nos hace referencia de los métodos analíticos que se deben utilizar para obtener diferentes parámetros a determinar.

Estos métodos se encuentran en las Normas Oficiales Mexicanas, las cuales se denominan de la siguiente forma:

	Norma Oficial Mexicana
NOM AA-09-73	Número Indicativo de la
	Norma y de Grupo
	Año de Vigencia de la Norma

**3.1.- Normas Oficiales Mexicanas**

Las Normas Oficiales Mexicanas que se requiere consultar para poder realizar un monitoreo atmosférico de cualquier fuente fija son las siguientes:

NOM-AA-09 1973 "DETERMINACION DEL FLUJO DE GASES EN UN CONDUCTO POR MEDIO DEL TUBO PITOT"

NOM-AA-10-1974 "DETERMINACION DE LA EMISION DE PARTICULAS SOLIDAS CONTENIDAS EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO"

NOM-AA-23-1986 "TERMINOLOGIA"

NOM-AA-35-1976 "DETERMINACION DE BIOXIDO DE CARBONO, MONOXIDO DE CARBONO EN LOS GASES DE COMBUSTION"

NOM AA-54-1978 "DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO. "METODO GRAVIMETRICO"

NOM AA-55-1979 "DETERMINACION DE BIOXIDO DE AZUFRE EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO"

NOM AA-114-1991 "DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL HUMO EN LOS GASES DE COMBUSTION QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO O CHIMENEA

Es importante mencionar que las anteriores Normas Oficiales Mexicanas, están basadas en el CFR de la Environmental Protection Agency (EPA).

NORMA OFICIAL MEXICANA. "DETERMINACION DEL FLUJO DE GASES EN UN CONDUCTO POR MEDIO DEL TUBO DE PITOT".-NOM-AA-09-1973.

Esta Norma cubre el método para determinar el flujo de gases en un conducto utilizando el tubo de Pitot. El método es aplicable para velocidades de gases superiores a 3 metros por segundo.

NORMA OFICIAL MEXICANA "DETERMINACION DE LA EMISION DE PARTICULAS SOLIDAS CONTENIDAS EN LOS GASES QUE SE DESCARGAN POR UN CONDUCTO".- NOM-AA-10-1974.

Esta norma establece el método para determinar la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descarguen de fuentes estacionarias, por captación en medio filtrante.

NORMA OFICIAL MEXICANA "DETERMINACION DE BIOXIDO DE CARBONO, MONOXIDO DE CARBONO Y OXIGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION".-NOM-AA-35-1976

Esta norma establece el método para determinar por absorción las proporciones de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno contenidos en los gases de combustión.

NORMA OFICIAL MEXICANA "DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO.- METODO GRAVIMETRICO".- NOM-54-1978

Esta norma establece el método gravimétrico para determinar la humedad contenida en los gases que fluyen por un conducto.

NORMA OFICIAL MEXICANA "CONTAMINACION ATMOSFERICA - FUENTES FIJAS - DETERMINACION DE BIOXIDO DE AZUFRE EN GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO" .- NOM-55-1979

Esta norma establece el procedimiento para la determinación de la concentración y de la emisión de bióxido de azufre en gases que fluyen a través de un conducto.

NORMA OFICIAL MEXICANA.- "CONTAMINACION ATMOSFERICA.- FUENTES FIJAS.- DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL HUMO EN LOS GASES DE COMBUSTION QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO O CHIMENEA- METODO DEL NUMERO DE MANCHA".- NOM-114-1991

Esta Norma oficial mexicana establece el método para determinar la densidad del humo en los gases de combustión que fluyen por un conducto.

Con la información contenida en las anteriores normas, podremos en este momento prepararnos para realizar un monitoreo de emisiones atmosféricas en cualquier fuente fija.



### 3.2.- Preparación de la chimenea

Para que los monitoreos en fuentes fijas sean válidos por la SEDESOL, se deberán instalar plataformas y puertos de muestreo en la chimenea o ducto donde se llevará a cabo un monitoreo de emisiones atmosféricas.

#### PLATAFORMAS

Para construir dichas plataformas y puertos de muestreo existen dos instructivos. Uno para ductos o chimeneas con diámetros internos menores a 30 cm hasta 10 cm y sus equivalentes y otro para aquéllos con diámetros internos, iguales lo mayores a 30 cm y sus equivalentes.

Para secciones cuadradas o rectangulares, se deberá calcular el diámetro equivalente a una sección circular con la siguiente expresión:

$$D = 2 L B / (L + B)$$

donde:

D = diámetro interno equivalente

L = largo de la sección interna del conducto

B = ancho de la sección interna del conducto

Para el caso de conductos o chimeneas de sección transversal diferente a la circular, cuadrada o rectangular; el diámetro equivalente se deberá calcular así:

$$D = 4 A/P$$

donde:

D = diámetro equivalente

A = área interna de la sección transversal

P = perímetro interno de la sección transversal

Para conductos con diámetros internos menores a 30 cm y hasta 10 cm y sus equivalentes, las plataformas o andamios deberán ser superficies capaces de soportar una carga de 150 kg, con ascenso de alta seguridad y de espacio suficiente para dar facilidad de maniobrar al operador, pudiendo ser éstas fijas o desmontables.

Por otro lado, para las chimeneas de diámetros mayores a 30 cm y sus equivalentes, las plataformas deberán ser circulares o de media luna de 1.20 m de radio a partir del paño de la chimenea, con barbandal de seguridad reforzado de 1.0 m de altura; escalerilla de ascenso de alta seguridad preferentemente la de tipo marino de 60 cm de ancho y peldaños a 30 cm y ser capaces de soportar una carga de 400 kg. A partir de de una altura de 2.40 m deberán colocársele a

la escalera guarda de seguridad de 70 cm de ancho a cada 60 cm.

En ambos casos se deberá contar con un contacto para suministro de corriente eléctrica monofásica (60 Hz. C.A: 127 volts y 15 AMP) y suficiente iluminación y protección necesaria para evitar cortos circuitos.

#### PUERTOS DE MUESTREO

El puerto de muestreo es el lugar en el cual se toma la muestra. Su colocación y número variará según el tipo de ducto que se desea monitorear. Es muy importante señalar que la localización de los puertos de muestreo a lo largo de una chimenea o ducto debe ser a una distancia donde se logre que la corriente gaseosa o flujo dentro del ducto o chimenea sea laminar.

#### Ductos con diámetros internos menores a 30 cm y hasta 10 cm y sus equivalentes.-

Para ductos o chimeneas circulares se deberán hacer dos puertos o perforaciones de 4 cm de diámetro; una en el nivel 1 y otra en el nivel 2. (Ver fig. 3.1)

Para conductos de diámetro interior menor a 20 cm y mayor o igual a 10 cm de geometría no circular, se deberán hacer dos puertos o perforaciones en el nivel 1 y otros dos puertos en el nivel 2. ( Ver fig. 3.1)

Para conductos de diámetro interior mayor a 20 cm y menor a 30, de geometría no circular requieren 3 perforaciones de 4 cm de diámetro c/u en el nivel 1 y 3 perforaciones en el nivel 2. (Ver fig. 3.2)

Ductos o chimeneas con diámetros internos, iguales o mayores a 30 cm y sus equivalentes.-

Los puertos deben ser lo suficientemente resistentes para soportar una fuerza cortante de 100 kg, una fuerza radial de 25 kg y una fuerza lateral de 25 kg con un diámetro interno de 10.1 cm (3 - 4 plg) y 8.0 cm de extensión o niple, con una brida ciega ó tapón capa. (Ver. fig. 3.4.C)

Los puertos deberán colocarse a una altura tal que conserve la relación de 8 diámetros como mínimo corriente arriba de la última perturbación del flujo, ocasionado por expansión, contracción, codo, ventilador, etc. y dos diámetros de la salida de los gases.

Cuando una chimenea tenga una altura menor a los 6 diámetros, después de la última perturbación del flujo, esta deberá ser prolongada para que pueda ser muestreada.

Cuando no se tenga flujo vertical a la altura de los puertos, para poder muestrear los gases y partículas, se deberá normalizar éste con la instalación de mamparas, rejillas u otros mecanismos. Nuevamente reiteramos que se debe realizar un muestreo en donde el flujo tendría un comportamiento laminar, más estable y una concentración de partículas más uniforme.

Se deberá colocar una argolla a la altura de aproximadamente dos metros desde el puerto de muestreo y en la línea vertical con respecto al mismo. (Ver fig. 3.3.C)

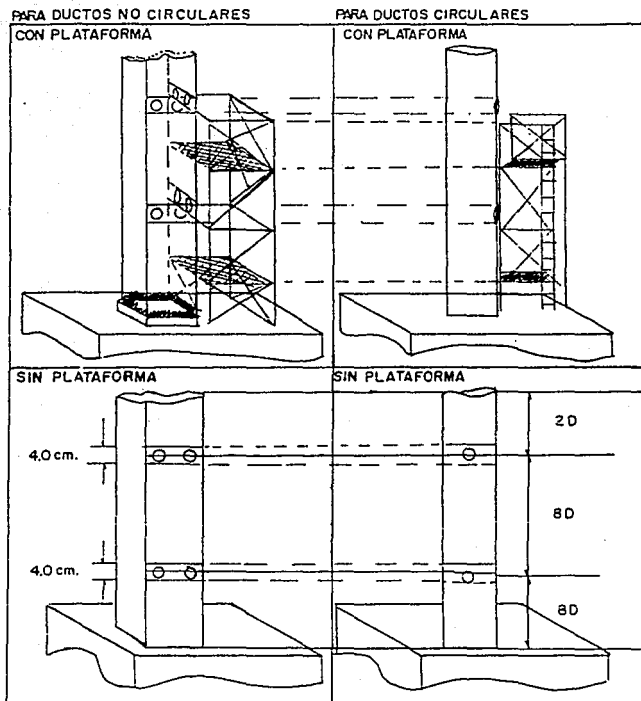
Para ductos o chimeneas de sección circular comprendidas entre 30 cm y 2.5 m de diámetro se deberá instalar 2 puertos de muestreo, uno a 90 grados con respecto al otro. (Ver fig. 3.4.B)

Cuando la suma del diámetro interno de la chimenea, más el espesor de la pared, más la longitud del puerto sea mayor a 2.5 m será necesario instalar una plataforma alrededor del ducto y cuatro puertos. (Ver fig. 3.4.A)

En el caso de ductos horizontales un puerto se colocará en el eje vertical del ducto.

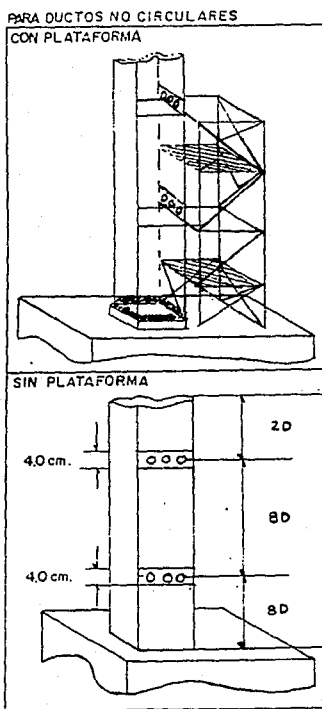
## PLATAFORMAS Y PUERTOS DE MUESTREO

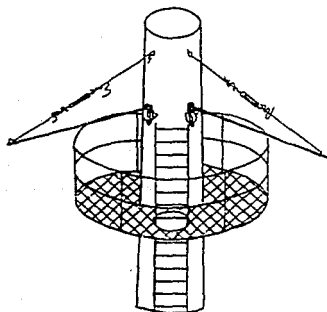
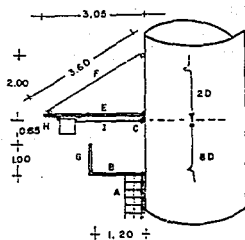
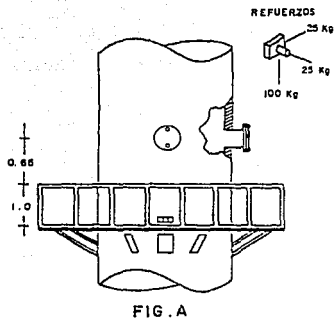
FIG. 3.1



## PLATAFORMAS Y PUERTOS DE MUESTREO

FIG. 3.2





- A : ESCALERILLA TIPO MARINO  
B : PLATAFORMA  
C : PUERTOS DE MUESTREO  
D : DIAMETRO DE CHIMENEA  
E : LONGITUD DEL RIEL  
F : LONGITUD DEL CABLE DE ACERO CON TENSOR  
G : ALTURA DEL BARANDAL  
H : CAJA DE IMPACTORES  
I : Sonda de MUESTREO  
J : FUENTE ELECTRICA 115V. 15A, 60 HZ CA  
K : REFUERZOS  
2D : DISTANCIA DEL PUERTO DE MUESTREO A LA SALIDA DE LA CHIMENEA  
8D : DISTANCIA DEL PUERTO DE MUESTREO DESPUES DE CUAL QUIER PERTURBACION DEL FLUJO

ACOTACION EN METROS

FIG. A : VISTA LATERAL DE PUERTOS Y PLATAFORMA PARA MUESTREO

FIG. B : PERFIL DE PUERTOS Y PLATAFORMA PARA MUESTREO

FIG. C : INSTALACION COMPLETA DE PUERTOS Y PLATAFORMA DE MUESTREO

FIG. 3.3.



FIG. 3.4

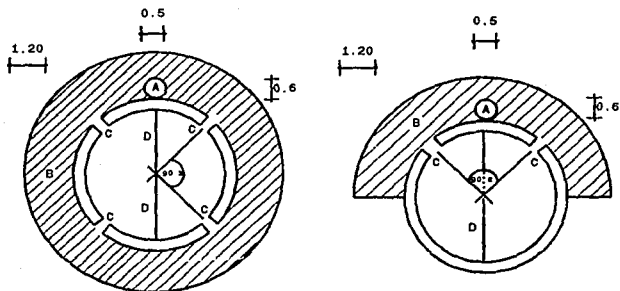


FIG. A

FIG. B

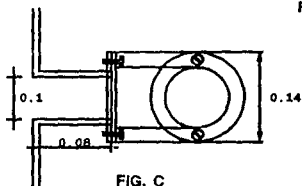


FIG. C

ACOTACIÓN EN METROS

- FIG. A: VISTA DE PLANTA DE UNA PLATAFORMA COMPLETA Y PUERTOS PARA MUESTREO
- FIG. B: VISTA DE PLANTA DE UNA PLATAFORMA MEDIA LUNA Y PUERTOS PARA MUESTREO
- FIG. C: VISTA LATERAL Y FRONTAL DEL PUERTO DE MUESTREO (CON BRIDAS) Y DIMENSIONES.

### 3.3. Métodos y procedimientos de un monitoreo atmosférico en una fuente fija.

El monitoreo consiste en medir la cantidad de contaminantes que emiten las fuentes fijas y esto se logra separando de la emisión, una parte representativa que sirva para cuantificar las sustancias presentes. La operación que tiene por objeto el obtener la muestra del material que se está emitiendo, se le conoce como muestreo en fuente.

Para poder realizar un correcto monitoreo, es necesario contar con la siguiente información del proceso:

- a) Nombre del proceso a monitorear
- b) Materias primas involucradas
- c) Tipo de proceso

Toda esta información referida a la industria farmacéutica se puede encontrar en el capítulo anterior.

A partir de esta información podremos determinar los contaminantes atmosféricos emitidos principalmente por la industria farmacéutica que son:

- polvos (de las descargas de los sistemas de extracción de los procesos de tableteado por ejemplo)
- gases de combustión y partículas de hollín (de los equipos generadores de vapor, por ejemplo)

Estos contaminantes deberán ser monitoreados para conocer el grado de emisión de dichos contaminantes al medio ambiente, que nos permita evaluar si se rebasan los niveles máximos permisibles de emisión fijados por la autoridad y así poder establecer los criterios de control adecuados.

Dependiendo del contaminante a monitorear se determinará la técnica más idónea para su muestreo, si son partículas el muestreo deberá ser del tipo isocinético, para gases de combustión se utilizará un muestreo proporcional. A continuación se describen cada uno de estos métodos.

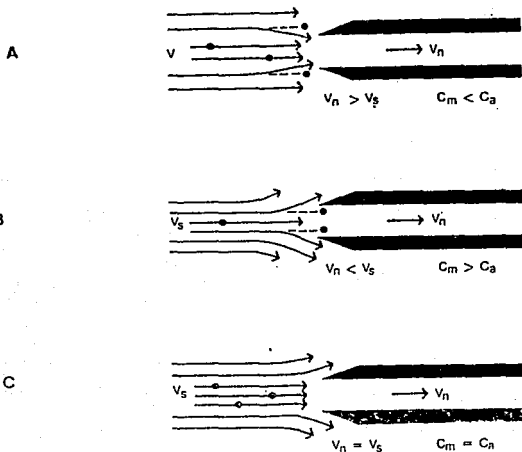
#### **Tipos de monitoreo**

En el **monitoreo isocinético** se iguala la velocidad del gas en la toma de la muestra con la velocidad del gas de la chimenea en cada punto de muestreo.

En la siguiente figura, se ilustran tres condiciones de muestreo. Aceptamos que las partículas viajan a la misma velocidad de la muestra que la corriente de gas en la chimenea. Si la velocidad de la muestra de gas en la boquilla es superior a la velocidad del gas en la chimenea (fig.A), la concentración medida es inferior a la real en la chimenea, (debido a la inercia de las partículas más grandes - éstas pasan a lo largo de la boquilla durante la aspiración de gas, y solamente unas pocas partículas son recogidas por unidad de

volumen de gas). Por el contrario, si la velocidad de la muestra de gas en la boquilla es inferior a la del gas en la chimenea (fig. B), una gran cantidad de partículas grandes entra en la boquilla durante la aspiración de gas y la concentración media es superior a la concentración real. Bajo cualquiera de estas condiciones en que la velocidad de la muestra de gas en la boquilla no es igual a la velocidad del gas en la chimenea, la muestra no es representativa de las condiciones reales dentro de la chimenea. Cuando la velocidad de la muestra de gas en la boquilla es igual a la velocidad del gas en la chimenea (isocinética), se obtiene una muestra realmente representativa (fig. C).

El monitoreo isocinético es usado exclusivamente para la valoración de la emisión de partículas sólidas y algunos otros contaminantes como cromo, arsénico, cadmio.



**Monitoreo proporcional.-**

Una muestra proporcional es aquella que se recoge durante un período significativo de tiempo, en el que el caudal de la muestra se ajusta de manera que se mantiene a una proporción constante del caudal del gas en la chimenea. Como resultado de esto, la concentración y el caudal resultan integrados de modo que la velocidad de emisión es la media algebraica durante el período de muestreo.

La toma de la muestra se hace en un solo punto y a bajo flujo; la toma de muestra dura mínimo 30 minutos hasta dos horas. Es utilizado para determinar la composición de gases ( $SO_2$  por ejemplo) y vapores de solventes ó ácidos liberados por tiros forzados a la atmósfera.

### 3.3.1.- Monitoreo isocinético de partículas

#### **Análisis preliminar**

Antes de que cualquier muestreo se lleve a cabo, debemos estar familiarizados con las operaciones generales de la fuente a evaluar, por medio de un análisis preliminar, el cual consiste en la determinación de parámetros básicos para conocer las características del flujo y su comportamiento laminar o turbulento en el interior de la chimenea, así como para determinar el diámetro de la boquilla de muestreo. Por lo tanto se medirán:

- a) diámetro de chimenea
- b) presión estática y dinámica en cada punto transversal
- c) determinación de presión barométrica por tablas o barómetro
- d) temperatura del gas
- e) composición del gas (por método Orsat, algún equipo electrónico de celda electroquímica u otro equipo de monitoreo continuo)
- f) determinación de la humedad

Toda esta información es conveniente registrarla en unos formatos que forman parte de las hojas de campo y que se llenan al momento de realizar cada evaluación. Ver anexo No. 1.

Para la determinación del flujo de gases en un conducto debemos calcular la velocidad promedio de éstos a partir de su presión dinámica promedio obtenida en diferentes puntos transversales de muestreo, junto con los valores de temperatura promedio en chimenea, el peso molecular del gas, la presión absoluta de chimenea y el factor de corrección del tubo Pitot.

La velocidad se determina por medio de un Tubo Pitot estándar o tipo S, el cual es un instrumento que al ser conectado a un manómetro inclinado nos proporciona datos sobre presión estática y presión dinámica o el  $\Delta P$  en cada punto de muestreo.

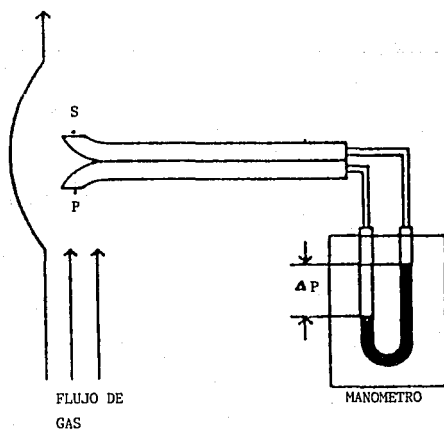
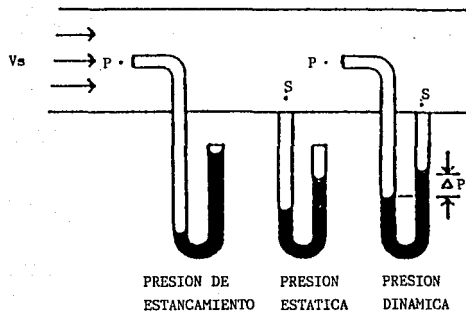
A continuación se definen los conceptos anteriormente mencionados (Ver fig. 3.5):

Presión estática ( $P_e$ ).- Es aquella ejercida en todas direcciones por un flujo en reposo. También se encuentra presente en un fluido en movimiento y se mide en una dirección perpendicular a la dirección del flujo en plg  $H_2O$ .

Presión dinámica ( $P_d$ ) ó  $\Delta P$ .- Es la presión correspondiente a la energía cinética de un fluido en movimiento, medida en la dirección del flujo en plg  $H_2O$ .

FIG. 3.5

## RELACION ENTRE LOS COMPONENTES DE LA PRESION TOTAL





Presión en chimenea (Pch).- es la presión absoluta en chimenea obtenida al sumar la presión estática promedio y la presión barométrica correspondiente al sitio de ubicación en plg Hg.

La temperatura en chimenea (Tch).- la temperatura medida en la chimenea en °R.

La ecuación con la cual se hará el cálculo matemático de velocidad en el sistema inglés es la siguiente:

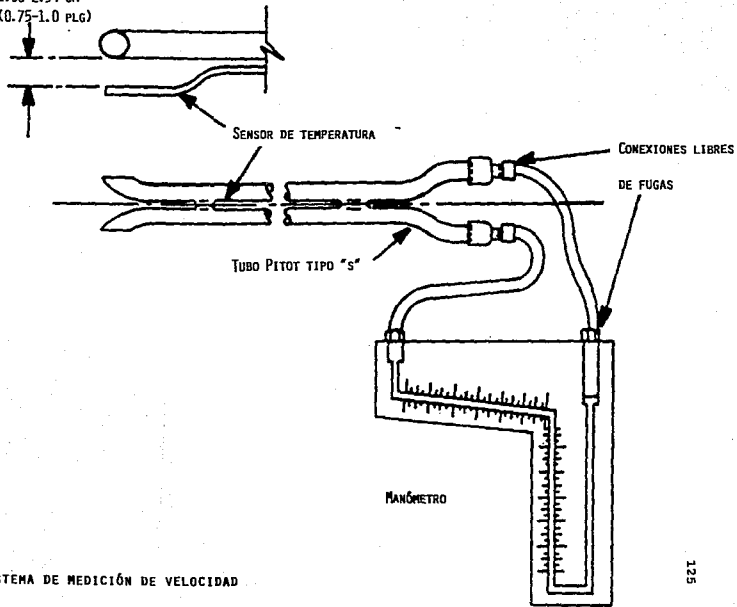
$$Vch = 85.4 * FCTP * \frac{(Tch \text{ } ^\circ R)^{0.5} * \text{Promedio } (\Delta Pd)^{0.5}}{(PMg * Pch)^{0.5}}$$

donde:

Vch = velocidad promedio en el ducto o chimenea (pies/s)  
 FCTP = factor de corrección del Tubo Pitot (adimensional)  
 Tch = temperatura promedio en la chimenea °R  
 PM = peso molecular del gas (g/gmol)  
 Pch = presión absoluta chimenea mmHg  
 ΔPd = presión dinámica (plg Hg)

\* Ver Sistema de medición de velocidad que a continuación se ilustra.

1.90-2.54 CM  
(0.75-1.0 PLG)



SISTEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD

- Determinación del número de puntos de prueba y su localización.

Para chimeneas de diámetros internos menores a 30 cm y hasta 10 centímetros y sus equivalentes

Para conductos circulares se deberán muestrear 14 puntos por sección y para conductos menores a 20 y hasta 10 cm de diámetro interno se deberán muestrear 8 puntos, con las siguientes partes proporcionales. (Ver fig. 3.1)

Punto No.	Parte propor. (%)	Parte propor. (%)
	> 20 cm	< 20 cm
1	9.7	20.4
2	12.9	25.0
3	16.9	30.6
4	20.4	38.8
5	25.0	61.2
6	30.6	69.4
7	38.8	75.0
8	61.2	79.8
9	69.4	
10	75.0	
11	79.6	
12	83.5	
13	87.1	
14	90.3	

Para conductos de diámetro interno menor a 20 cm y mayor o igual a 10 cm de geometría no circular, se medirán 8 puntos por sección. (Ver fig. 3.1 )

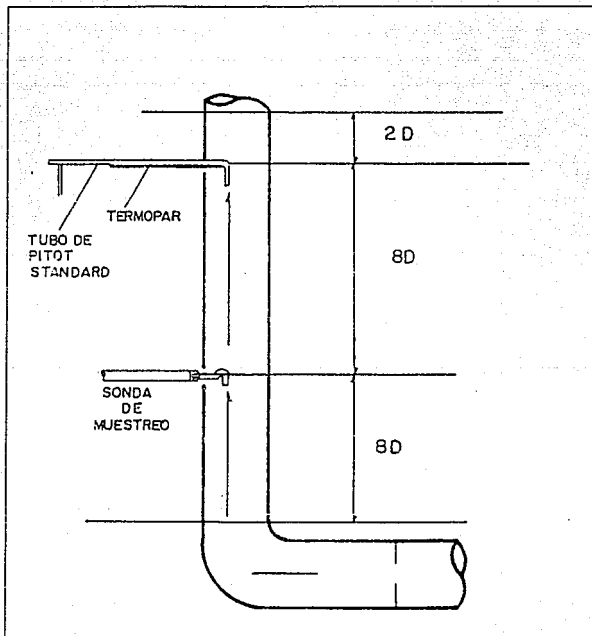
Para conductos de geometría no circular de diámetro interno mayor a 20 cm y menor a 30 cm, se muestrearán 9 puntos por sección. (Ver fig. 3.2)

En este tipo de ductos el muestreo se hará en un solo eje, donde la toma de la muestra se efectuará en el primer nivel, y la toma de velocidades en el segundo. Esto es con el fin de que no exista interferencia entre la sonda y el Tubo Pitot.

A continuación se ilustra en la figura No. 3.6 la disposición del tubo Pitot y de la sonda de muestreo en ductos cuyos diámetros se encuentren entre 10 y 30 cm.

DISPOSICION DEL TUBO PITOT Y SONDA DE MUESTREO  
EN DUCTOS DE 10 A 30 cm

FIG. 3.6



Para chimeneas de diámetros internos iguales o mayores a 30 cm y sus equivalentes

Para ductos o chimeneas diferentes a la circular debe establecerse el número mínimo de puntos de prueba de acuerdo a la gráficas 3.1 y/o 3.2.

Para localizarlos se debe subdividir el área total en tantas partes como puntos de prueba se requieran. Las áreas en las que se subdivide la sección transversal del conducto, deben ser lo más semejantes posibles en forma y posición a ésta. (Ver fig. 3.7)

Para conductos de sección circular debe establecerse el número mínimo de puntos de muestreo de acuerdo con la gráfica 3.1 nuevamente y su localización de acuerdo con la fórmula siguiente: (Ver fig. 3.8)

$$R = D \frac{z^2 - 1}{4k}$$

donde:

R = Distancia del centro del conducto al enésimo punto de prueba

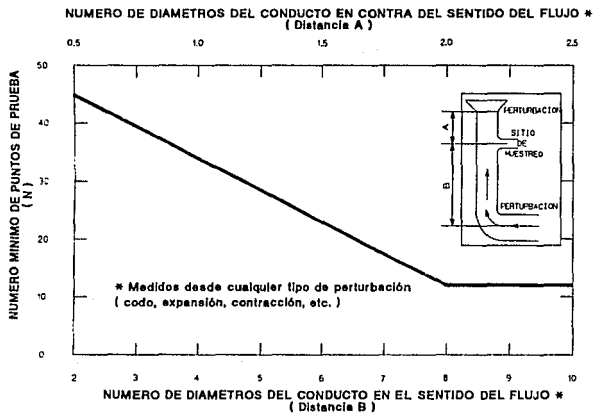
D = diámetro del conducto o diámetro equivalente

z = enésimo punto de prueba desde el centro

k = Número de puntos de prueba por corrida

## GRAFICA No. 3.1

DETERMINACION DEL NUMERO DE PUNTOS DE MUESTREO PARA  
DUCTOS CON DIAMETROS IGUALES O MAYORES A 30 cm.



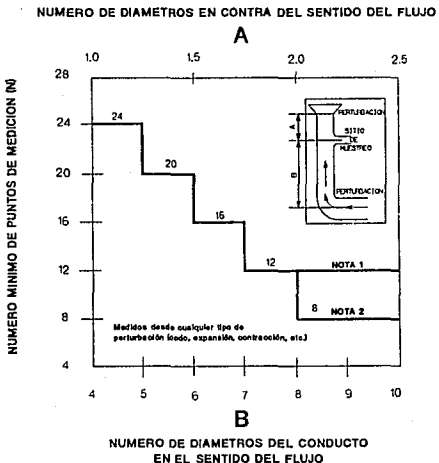
### USO DE LA FIGURA

- 1.- Se determina A y B
- 2.- Se determina N para cada distancia
- 3.- Se selecciona el mayor de los valores de N, cuando éste no sea múltiplo de 4, se toma el siguiente número mayor que si lo sea.

\* REF. NOM-AA-09-1973

## GRAFICA 3.2

### DETERMINACION DEL NUMERO DE PUNTOS DE MUESTREO PARA DUCTOS CON DIAMETROS IGUALES O MAYORES A 30 cm



#### USO DE LA FIGURA:

- 1.- Se determina A y B
- 2.- Se determina N para cada distancia
- 3.- Se selecciona el mayor de los valores de N.

NOTA 1: Para diámetros mayores a 0.60 (24 in)

NOTA 2: Para diámetros de 0.30 a 0.60 m (12 - 24 in)

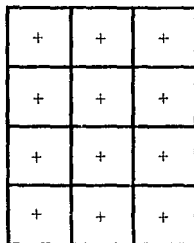
NOTA 3: Para ductos rectangulares entre 0.30 - 60 m, N será 9.

REF. METODO 1 40 CFR EPA

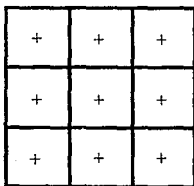


LOCALIZACION DE PUNTOS DE PRUEBA EN DUCTOS DE SECCIONES  
RECTANGULARES Y CUADRADAS

FIG. 3.7

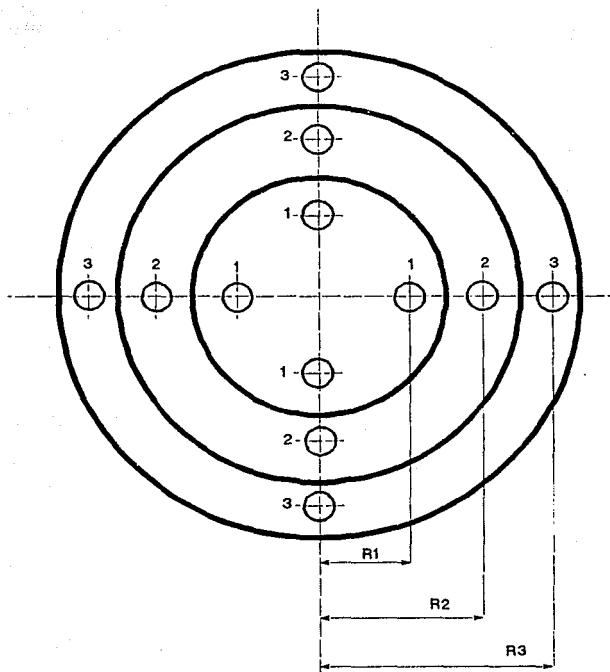


A) 12 AREAS IGUALES



B) 9 AREAS IGUALES

POSICIONES DE LOS PUNTOS DE PRUEBA  
EN CONDUCTOS DE SECCION CIRCULAR  
FIG. 3.8



NOTA: La localización de los puntos de prueba a lo largo de un diámetro se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = D \sqrt{\frac{2x-1}{4k}}$$

Otra forma más directa para la localización de cada uno de los puntos en la sección transversal desde la pared interior hasta cada punto, se logra mediante la sig. tabla, en la cual encuentran los porcentajes del diámetro del conducto desde la pared interior hasta el punto transversal. Es importante señalar que si  $N$  es igual a 12, entonces se tomaría 6 como el Número de puntos transversales sobre un diámetro, ya que se muestrearán en dos puertos perpendiculares.

Una muestra nunca se tomará a una distancia menor de 2.54 cm de la pared interior de la chimenea. En el caso de que la distancia entre el primer punto transversal de muestreo y la pared interna del ducto o chimenea sea menor a esta distancia, se deberán ajustar la localización del primer y último punto a muestrear.

### Localización de puntos transversales en ductos circulares

Número  
de punto  
transversal  
sobre un  
diámetro

Número de puntos transversales sobre un diámetro

1	4,4	3,3	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
2	14,7	10,5	8,2	6,7	5,7	4,9	4,4	3,9	3,5	3,2
3	29,5	19,4	14,6	11,8	9,9	8,5	7,5	6,7	6,0	5,5
4	70,5	32,3	22,6	17,7	14,6	12,5	10,9	9,7	8,7	7,9
5	85,3	67,7	34,2	25,0	20,1	16,9	14,6	12,9	11,6	10,5
6	95,6	80,6	65,8	35,5	26,9	22,0	18,8	16,5	14,6	13,2
7		89,5	77,4	64,5	36,6	28,3	23,6	20,4	18,0	16,1
8		96,7	85,4	75,0	63,4	37,5	29,6	25,0	21,8	19,4
9			91,8	82,3	73,1	62,5	38,2	30,6	26,1	23,0
10			97,5	88,2	79,9	71,7	61,8	38,8	31,5	27,2
11				93,3	85,4	78,0	70,4	61,2	39,3	32,3
12				97,9	90,1	83,1	76,4	69,4	60,7	39,8
13					94,3	87,5	81,2	75,0	68,5	60,2
14					98,2	91,5	85,4	79,6	73,9	67,7
15						95,1	89,1	83,5	78,2	72,8
16						98,4	92,5	87,1	82,0	77,0
17							95,6	90,3	85,4	80,6
18							98,6	93,3	88,4	83,9
19								96,1	91,3	86,8
20								98,7	94,0	89,5
21									96,5	92,1
22									98,9	94,5
23										96,8
24										98,9

#### - Determinación de la humedad.

En un muestreo preeliminar se puede suponer un porcentaje de humedad en la mezcla de gases dependiendo del proceso, tipo de combustible. Posteriormente se determinará el valor real, con los resultados obtenidos en el muestreo definitivo.

- Determinación de la composición de los gases.

La composición y el peso molecular de los gases que fluyen por una chimenea deben ser determinados para el cálculo de velocidades, concentraciones de gas para condiciones específicas, y velocidades de emisión (en peso del contaminante por unidad de tiempo). El analizador tipo Orsat determina las cantidades de dióxido de carbono, oxígeno y monóxido de carbono presentes en bases volumétricas. Haciendo pasar a través de soluciones lavadoras, cada constituyente del gas es removido selectivamente. Después de lo cual, el gas residual se presume que es nitrógeno. Para convertir las concentraciones de base seca a húmeda, se hacen las correcciones del contenido de humedad.

A partir de la siguiente ecuación se podrá obtener el peso molecular promedio de la mezcla de gases:

$PM_h = (\text{fracc.H})(18) + (\text{fracc. gas seco}) (\text{vol.promedio de los componentes de gas}) (PM \text{ de cada componente})$

$$PM_h = \frac{H(18) + f_{gs} \times (28 \times \%CO + 44 \times \%CO_2 + 32 \times \%O_2 + 28 \times \%N_2)}{100}$$

donde:

$PM_h$  = Peso molecular de la mezcla gaseosa base húmeda

% H = porcentaje de agua

fgs = fracción de gas seco

$$fgs = 100 - \%H$$

- Determinación de la boquilla muestreadora.-

Se puede determinar mediante cálculos matemáticos usando la siguiente fórmula:

$$Ab = \frac{0.5}{Vch \times 60 \times F.G.S. \frac{Pch}{29.92} \frac{517}{Tch}}$$

donde:

Ab = Area boquilla

Vch = velocidad promedio en la chimenea ft/seg

F.G.S. = fracción de gas seco

Pch = Presión absoluta en chimenea en plg de Hg

Tch = temperatura chimenea promedio °R

Debemos recordar que a mayor velocidad boquilla de menor área. Con el área de boquilla calculada se obtiene el diámetro de ésta, para poder elegir la boquilla más adecuada.

#### **Muestreo definitivo**

Un muestreo definitivo es aquel que nos da una información completa acerca de la chimenea para conocer exactamente la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera en condiciones reales de operación.

En un monitoreo isocinético de partículas se obtendrá finalmente después de realizar todos los cálculos necesarios la concentración y sobretodo la emisión de las partículas en kg/hr, con lo cual podremos determinar si nos encontramos dentro de los Límites Máximos de Emisión.

**-Determinación de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.-**

Para obtener una muestra representativa de partículas la muestra deberá ser colectada lo más cercana posible al isocineticismo; esto quiere decir que la velocidad promedio con que se toma la muestra debe ser igualada a la velocidad que llevan las partículas en cada punto de la sección transversal de la chimenea previamente determinados.

Por lo tanto se debe calcular el flujo de gas con el cual se debe de succionar la muestra en cada punto para lograr el isocinetismo. La ecuación para el cálculo de succión variará de acuerdo al equipo con el que se realiza el monitoreo. Para el caso de un equipo manual es la siguiente:

$$Gg = Ab * Vch * \frac{Tm}{Tch} * \frac{Pch}{Pm} * 60 * fgs$$

donde:

Gg= gasto a succionar para cada punto en ft<sup>3</sup>/min

Ab= área de boquilla

Vch= velocidad en chimenea en cada punto

Pch= presión en chimenea absoluta

Pm= presión del medidor(gasómetro)

Pm= Pb - Pv

donde:

Pb= presión barométrica

Pv= presión de vacío

f.g.s.= fracción de gas seco

Tg= temperatura de gases

Tch= tempertatura de chimenea



Con los gastos obtenidos con la fórmula anterior, se obtendrá el volumen de muestra que deberá pasar por minuto en cada punto. Por lo tanto en la hoja de campo para muestreo isocinético, se registrarán durante el monitoreo los datos de tiempo, volumen muestra, presión dinámica, temperatura del gasómetro, presión de vacío, temperatura chimenea y del ambiente en cada punto de muestreo. El tiempo de muestreo en cada punto deberá ser mínimo de 5 minutos.

Una vez realizados todos los cálculos anteriores, se procederá a montar el tren de monitoreo para iniciar con el muestreo isocinético de partículas.

Un tren de muestreo manual consiste en los siguientes elementos:

- Boquilla.- Es la parte del equipo la cual admite primero la muestra de gas hacia el tren de muestreo. Debe estar diseñada para minimizar perturbaciones de los patrones de flujo originales en el punto de muestreo, así como extraer la muestra sin afectar la composición de ésta. El material de construcción adecuado (acero inoxidable) debe resistir las condiciones del muestreo con puntas y bordes de adelgazamiento gradual con diámetro de entrada mínimo de 6 mm.

Sonda de prueba.- Es la parte del equipo la cual permite que la boquilla sea colocada dentro del ducto o chimenea para que sea tomada la muestra de gas. Usualmente se conecta con otros varios instrumentos del equipo, tales como el filtro, condensador de agua o caja fría. Cualquier parte de la sonda que penetra en el ducto deberá ser rígida.

La sonda debe ser ajustada con algún indicador u otro aditamento para indicar la dirección en la cual debe ir la boquilla muestreadora. Su interior así como el filtro deben ser lisas y bien pulidas, y el número de juntas debería mantenerse al mínimo. Se deberán tomar provisiones para la recuperación de cualquier sólido depositado dentro de ella. Su material debe ser adecuado para resistir las condiciones de muestreo y en casos de alta humedad con sistema de calentamiento capaz de mantener la temperatura del gas a 125 °C en el extremo de salida durante el muestreo, para evitar condensación de vapor de agua y vapores de ácido sulfúrico entre la boquilla y el medio filtrante.

Medio filtrante.- Puede utilizarse cualquiera que resulte adecuado a las condiciones de prueba y siempre que retengan por lo menos el 95% del peso de partículas contenidas en el gas muestreado.

El filtro más comúnmente utilizado es de fibra de vidrio, debido a que resiste altas temperaturas. Debemos buscar que éste sea de fibras muy finas y empacado cuidadosamente (sin formación de canales)

Portafiltro.- Debe estar diseñado de una forma que no deteriore el filtro en el momento de ser retirado. Su material de construcción puede ser vidrio de borosilicato, cuarzo y comúnmente acero inoxidable. Es importante que tenga un sello positivo contra fuga proveniente del exterior o alrededor del filtro.

El portafiltro puede colocarse dentro del ducto o chimenea o externamente de éste. En el segundo caso, debe considerarse un sistema de calentamiento para el portafiltro, para evitar cualquier condensación.

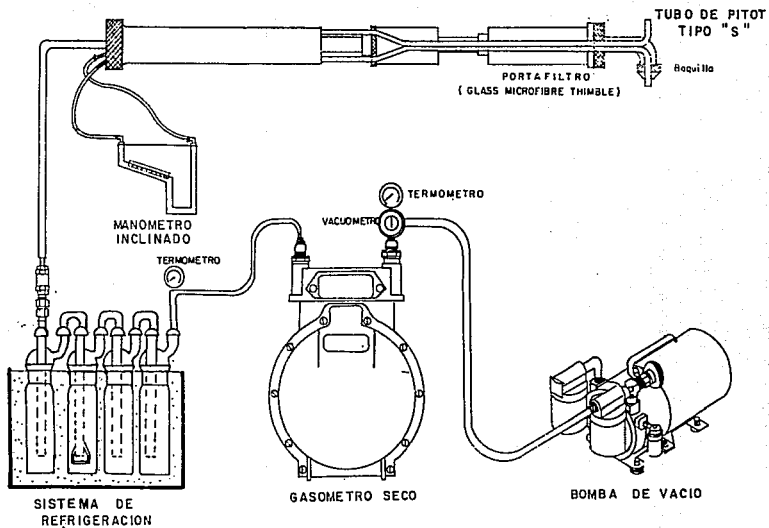
Condensador o sistema de captura .- Para el caso de tener gases húmedos. Debe medir el contenido de agua con una exactitud dentro del 1% del volumen de gas. Se usa comúnmente un sistema de 4 impactores. EL primero, tercero y cuarto son del tipo Greenburg-Smith con punta modificada, es decir; con un tubo que se extiende hasta 1.3 cm desde el fondo y el segundo es del tipo Greenburg-Smith pero con la punta estándar. El primero y segundo impactor contienen cantidades de agua conocidas, el tercero vacío y el cuarto con una cantidad previamente pesada de silica gel.

Sistema de medición del volúmen de gas muestreado (gasómetro, rotámetro).- Equipo capaz de medir el gasto de gas con una exactitud de  $\pm 2\%$ . Debe estar provisto de un termómetro y vacuómetro de rango adecuado para determinar las condiciones del gas en el medidor.

Fuente de succión (bomba de vacío).- Debe ser capaz de extraer la muestra de gas requerida contra la resistencia provocada por la boquilla, tubo, filtro, etc. Provista de una válvula para regular el flujo de gas. Cuando se utiliza en conjunto con un gasómetro, la bomba debe ser hermética.

El arreglo que debe tener un tren de muestreo manual para monitoreo isocinético es el siguiente:

SONDA DE MUESTREO



TREN DE MUESTREO MANUAL  
PARA MONITOREO ISOCINETICO

En la actualidad podemos encontrar en el mercado equipos de monitoreo semiautomáticos. Las diferencias que tiene con el equipo manual de monitoreo anterior son: a) que los controles para de las variables a manejar dentro de un monitoreo isocinético se encuentran en una consola; b) además de los elementos que se describieron anteriormente, se ocupa una placa de orificio, la cual registra la velocidad del flujo de gas que pasa a través del gasómetro. Esta caída de presión se representa como  $\Delta H$ . Ajustando la velocidad de flujo para obtener la caída de presión deseada a través de la placa de orificio, se establecerán entonces las condiciones de muestreo isocinéticas.

La ecuación que nos relaciona el  $\Delta P$  obtenido en cada punto se multiplica por la constante  $K'$  para obtener el  $\Delta H$  deseado que nos proporcione condiciones isocinéticas.

$$\Delta H = K' \Delta P$$

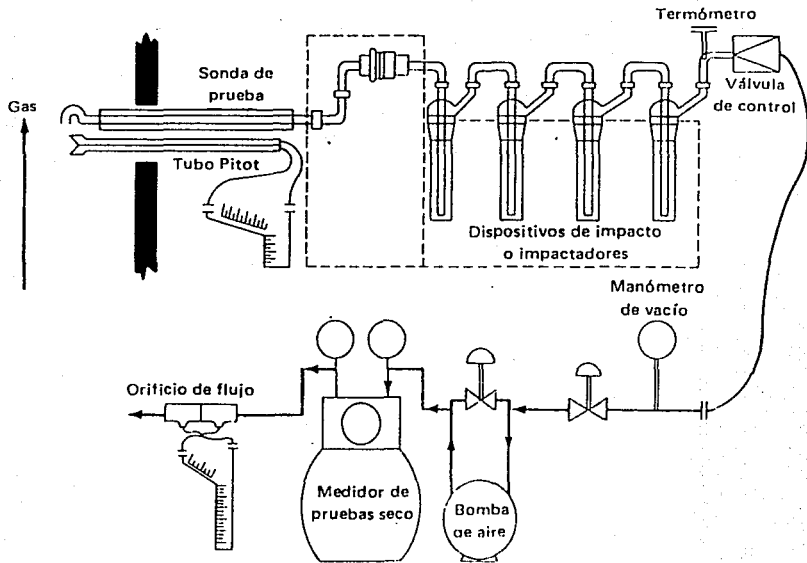
donde:

$\Delta H$  = caída de presión deseada

$K'$  = constante específica que depende del diámetro de boquilla usada, del PM del gas, contenido de humedad y temperatura en la chimenea, así como del factor de calibración de la placa de orificio.

$\Delta P$  = velocidad en cada punto

A continuación se muestra una equipo que incluye dentro su arreglo la placa de orificio para lograr el isocinetismo:



TREN DE MUESTREO PARA PARTICULAS

Procedimiento para operar un equipo de monitoreo manual:

- 1.- Este muestreo se inicia con el acondicionamiento del filtro el cual debe ponerse en la estufa por una hora a 120 °C. Después debe colocarse en un desecador aprox. por una hora para enfriarse y que no absorba humedad. Se pesa con una aproximación de 0.0001 g.
- 2.- Preparar los impactores, los cuales deberán estar limpios y bien secos. Se llenan el primero con agua, el segundo con solución absorbadora (para el caso de determinación de bióxido de azufre), el tercero se deja vacío, y el cuarto con sílica gel, previamente secada hasta la reactivación del indicador. Se tapan para obtener un sellado perfecto con grasa de silicón.
- 3.- Se pesa cada impactor y se anota su peso en la hoja de campo correspondiente.
- 4.- Se montan los impactores en la caja condensadora con hielo. Se debe cuidar que las conexiones queden bien selladas con silicón y bien sujetas con pinzas.
- 5.- El filtro ya acondicionado se pesa, se anota su peso en la hoja de laboratorio y se monta en el portafiltro (cuidar de que el empaque quede bien asentado, para evitar infiltraciones)



6.- Se termina de armar el tren de muestreo.

7.- Una vez montado el tren de muestreo isocinético, es importante verificar que no existan fugas en las conexiones hechas. Para realizar la prueba de infiltraciones se realiza lo siguiente:

- a) Se tapa la boquilla de succión
- b) Se pone a funcionar la bomba
- c) Se abre la válvula de control hasta que la lectura del manómetro llegue a su valor máximo
- d) Se cierra la válvula
- e) Se detiene la bomba

La lectura del vacuómetro no debe variar en 30 segundos o presentar infiltraciones mayores a  $0.02 \text{ ft}^3/\text{min}$ ; en caso de no cumplir, revisar cada unión del tren hasta lograr la hermeticidad.

8.- Al terminar la prueba de infiltraciones, romper el vacío dejando penetrar poco a poco aire al sistema con la válvula de control fino.

9.- Marcar la sonda con la distancia de los puntos de muestreo calculados previamente.

10.- Al empezar la prueba, poner la boquilla en el primer punto de muestreo, orientar la boquilla en sentido contrario a la corriente gaseosa, arrancar la bomba, abrir la válvula de control de flujo hasta alcanzar gasto de muestreo calculado y poner a funcionar el cronómetro anotar la hora, volumen, presión y temperatura del gasómetro, así como la temperatura de la chimenea, entrada y salida del gasómetro y el  $\Delta P$  en cada punto de muestreo.

11.- Una vez terminado el muestreo de un punto, pasar rápidamente al otro punto y ajustar la succión hasta obtener el gasto de muestreo calculado para ese punto. Tan rápido como sea posible, repetir el procedimiento en cada punto hasta terminar el tiempo total de muestreo en ese puerto.

12.- Al concluir el tiempo de muestreo cerrar la válvula de flujo, detener el cronómetro y pasar la sonda y la caja de impactores al otro puerto de muestreo y repetir el procedimiento.

13.- Al terminar la prueba, cerrar la válvula reguladora de flujo, detener la bomba y orientar la boquilla en el sentido al flujo, sacar cuidadosamente la sonda, asegurándose de que la boquilla no recoja polvo de la parte interior del puerto, mantener la boquilla hacia arriba para evitar pérdidas de muestra.

14.- Desmontar el tren, y pesar los impactores. Antes de extraer el filtro con la muestra, se limpia con un cepillo la parte exterior de la boquilla y el portafiltro; el material adherido en su interior debe hacerse llegar al filtro. Se transfiere el filtro con la muestra a un recipiente adecuado. De ser posible, se realiza este procedimiento en el laboratorio.

15.- El filtro se acondiciona nuevamente, secándolo a 120 °C por una hora, enfriándolo en el desecador por otra hora. Después de pesa en la balanza analítica y se anota el resultado.

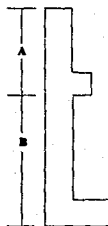
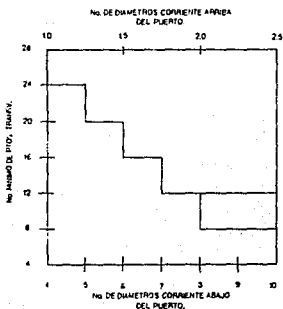
16.- Al terminar se lava todo el equipo, se seca y se guarda cuidadosamente.

Una vez que se ha llevado a cabo el monitoreo isocinético de partículas, con la información recopilada en las hojas de campo (anexo No.1) durante el muestreo, se procederá a elaborar una memoria de cálculo, en la cual se lleva a cabo el tratamiento matemático de los datos obtenidos en campo, para obtener finalmente una tabla de resultados comparativa con los límites máximos permisibles de emisión de cada contaminante.

**ANEXO No. 1**

## HOJAS DE CAMPO PARA MUESTREO ISOCINETICO.

COMPAÑIA EVALUADA: \_\_\_\_\_  
 EQUIPO: \_\_\_\_\_  
 CHIMENEA: \_\_\_\_\_  
 DIAMETRO DE CHIMENEA: \_\_\_\_\_ EXT. PUERTO: \_\_\_\_\_  
 No. DIAM'S CORRIENTE ARRIBA: \_\_\_\_\_ No. DIAM'S CORRIENTE ABAJO: \_\_\_\_\_



	FACTORES DE LONGITUD $K_L$									
	NUMERO DE PUNTOS TRANSVERSALES									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1	.148	.067	.044	.033	.025	.021	.018	.016	.014	.013
2	.854	.250	.147	.095	.062	.047	.037	.030	.024	.020
3		.750	.295	.184	.116	.080	.059	.045	.035	.027
4			.933	.323	.204	.127	.086	.060	.040	.029
5				.853	.377	.242	.150	.101	.069	.049
6					.956	.376	.255	.169	.110	.075
7						.895	.274	.185	.120	.080
8							.967	.354	.250	.160
9								.916	.323	.210
10									.975	.282
11										.882
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

## LOCALIZACION DE PTO.

PTO. 1= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 2= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 3= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 4= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 5= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 6= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 7= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 8= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 9= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 10= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 11= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 12= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 13= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 14= \_\_\_\_\_ cm  
 PTO. 15= \_\_\_\_\_ cm

### DETERMINACION DE LA VELOCIDAD PRELIMINAR.

PUNTOS TRANSV. No.	PRESION DINAMICA DP in H2O	PRESION DINAMICA*0.5 DP in H2O*0.5	TEMP. CHIMENEA ( ° )
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
SUMATORIA			
PROMEDIO			

CALCULO DE VELOCIDAD PRELIMINAR:

$$\text{Prom. } \sqrt{DP} = \frac{\sqrt{DP}}{N}$$

$$\text{Prom. } \sqrt{DP} = \frac{(\quad)}{(\quad)} = (\quad)$$

(Las unidades son in H2O\*0.5)

N = Número de puntos transversales

F.C.T.P. = \_\_\_\_\_

Pch medida = \_\_\_\_\_ in H2O

Esta puede ser (+) o (-)

Presion atmosférica preliminar =

Pbar. = \_\_\_\_\_ in Hg

$$Pch = (\quad) \text{ in H2O} * (0.07355) + (\quad) \text{ in Hg} = \quad \text{ in Hg}$$

$$Vch = 0.854 * F.C.T.P. * \text{prom. } (DP)^{0.5} * \frac{(T.ch. * R)^{0.5}}{(P.M.G. * Pch \text{ in Hg})^{0.5}}$$

$$Vch = 85.4 * (\quad) * (\quad) * \frac{(\quad)^{0.5}}{((\quad) * (\quad))^{0.5}} = \quad$$

$$Ab = \frac{0.5}{(Vch * 60 * F.G.S. * \frac{Pch}{29.92} * \frac{537}{Tch} * (\quad)^{80} * (\frac{(\quad)}{29.92})^{537} * (\quad))} = \frac{0.5}{(\quad)}$$

Ab calculada = \_\_\_\_\_ ft2

Diám. boquilla calc. = \_\_\_\_\_ in

DIAM. BOQUILLA SELECC. = \_\_\_\_\_ in

Ab SELECCIONADA = \_\_\_\_\_ ft2

## RESULTADOS DEL ANALISIS PRELIMINAR ORSAT.

FECHA: \_\_\_\_\_

HORA: \_\_\_\_\_

EVALUADOR: \_\_\_\_\_

### FRACCION PROPORCIONAL DEL GAS.

GAS	No. DE PRUEBAS % VOLUMEN			
CO <sub>2</sub>				
CO				
O <sub>2</sub>				
N <sub>2</sub>				

### CALCULO PRELIMINAR DEL PESO MOLECULAR

GAS	PESO MOL.		FRACCION HUMEDA	=	PESO MOL. PARCIAL
H <sub>2</sub> O	18	*	[ _____ ]	=	_____

			FRACC. ORSAT		FRACC. DE GAS SECO		
CO <sub>2</sub>	44	*	_____	*	[ _____ ]	=	_____
O <sub>2</sub>	32	*	_____	*		=	_____
CO	28	*	_____	*		=	_____
N <sub>2</sub>	28	*	_____	*		=	_____

PESO MOLECULAR = \_\_\_\_\_

## IMPACTORES DE CAPTURA.

MUESTRA No.: \_\_\_\_\_

IMPACTOR No.	SOLUCION USADA.	TIPO DE CONFIGURACION DEL IMPACTOR.	PESO EN GRAMOS.
1	_____	_____	FINAL: _____ g INICIAL: _____ g GANADO: _____ g
2	_____	_____	FINAL: _____ g INICIAL: _____ g GANADO: _____ g
3	_____	_____	FINAL: _____ g INICIAL: _____ g GANADO: _____ g
4	_____	_____	FINAL: _____ g INICIAL: _____ g GANADO: _____ g
PESO TOTAL GANADO EN IMPACTORES =			_____ g

GAS	FRACCION DEL GAS	PROM.
CO2		
CO		
O2		
N2		

FECHA: \_\_\_\_\_

HORA: \_\_\_\_\_





Memoria de cálculo

Una memoria de cálculo, podría tomar la siguiente forma:

Durante la evaluación realizada en la fuente de emisión, se obtuvieron los parámetros que se encuentran reportados en la tabla de resultados, como consecuencia de los datos que se tabulan en las hojas de registro de datos y lecturas (hojas de campo).

## I.- INFORMACION Y CALCULOS PRELIMINARES

## 1.- DATOS FISICOS OBTENIDOS

Diámetro de chimenea =  $D_i ch = \underline{\hspace{2cm}}$  m

Area de chimenea =  $A_{ch} = 0.785 (D_i ch)^2 = 0.785 ( \ ) = \underline{\hspace{2cm}}$  m<sup>2</sup>  
 =  $\underline{\hspace{2cm}}$  pie<sup>2</sup>

Extensión del puerto de muestreo = E.p.m. =  $\underline{\hspace{2cm}}$  m

Presión barométrica =  $P_b = \underline{\hspace{2cm}}$  plg Hg

Factor de corrección del Tubo Pitot = F.C.T.P. =  $\underline{\hspace{2cm}}$

Factor de corrección del gasómetro = F.C.G. =  $\underline{\hspace{2cm}}$

## 2.- LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO SOBRE LOS SEGMENTOS TRANSVERSALES DE LOS PUERTOS DE MUESTREO.

No. de puntos de muestreo seleccionados:

puesto que los puertos se encuentran a  $\underline{\hspace{2cm}}$  diámetros de la chimenea corriente abajo de la salida de los gases y a  $\underline{\hspace{2cm}}$  diámetros de la chimenea corriente arriba de la última perturbación.

## II.- CALCULOS DEFINITIVOS

## 1.- CALCULO DE LA FRACCION DE HUMEDAD

$$\text{Presión absoluta del gasómetro} = P_b - P_g = ( \quad ) - ( \quad )$$

$$P_m = \quad \text{plgHg}$$

$$\text{Lectura en el gasómetro final} = \quad \text{pie}^3$$

$$\text{inicial} = \quad \text{pie}^3$$

$$\text{volumen medido} = \quad \text{pie}^3$$

Volumen corregido (Vc)

$$\text{Factor de corrección del gasómetro FCG} = \quad$$

$$V_c = \text{volumen medido} \times \text{FCG} = ( \quad ) * ( \quad ) =$$

$$V_c = \quad \text{lbs} = \quad \text{m}^3 = \quad \text{pie}^3$$

Fracción de gas húmedo = f.g.h.

$$\text{Presión medidor} = P_m = P_b - P_v$$

$$\text{Temperatura medidor} = T_m$$

$$\text{Peso Total Agua colectada} = \text{PTAC}$$

$$f_{gh} = \frac{0.0756 \text{ lt/g H}_2\text{O} * \text{PTAC(g H}_2\text{O)} * (T_m \text{ }^\circ\text{R} / P_m \text{ plgHg})}{0.0756 \text{ lt/g H}_2\text{O} * \text{PTAC(g H}_2\text{O)} * (T_m \text{ }^\circ\text{R} / P_m \text{ plgHg}) + V_c \text{ lt}}$$

$$f_{gs} = 1 - f_{gh} = 1 - ( \quad ) = \quad$$

## 2.- OBTENCION DE LA COMPOSICION EN VOLUMEN DE LA CORRIENTE

GASEOSA

ANALISIS ORSAT

GAS	PORCIENTO EN VOLUMEN
CO <sub>2</sub>	_____ %
CO	_____ %
O <sub>2</sub>	_____ %
N <sub>2</sub>	_____ %

Determinación del peso molecular promedio del gas.

Sustancia	Peso molecular
H <sub>2</sub> O	$18 * f_{gh} = 18 * ( \quad ) = \underline{\hspace{2cm}}$
	Fracción Orsat f.g.s.      Peso molecular parcial
CO <sub>2</sub>	44 * _____ * _____ = _____
CO	28 * _____ * _____ = _____
O <sub>2</sub>	32 * _____ * _____ = _____
N <sub>2</sub>	28 * _____ * _____ = _____
	Peso molecular gas seco = PM gs = _____ g/gmol
	Peso molecular gas húmedo = PM gh = _____ g/gmol

## 3.- DETERMINACION DE LA VELOCIDAD

Para esta determinación seguirse los siguientes pasos:

- a) Sumar las raíces cuadradas de todas las  $\Delta p$ 's y dividir las por N, que es el número de los  $\Delta p$ 's

$$p_{\text{prom}} = \frac{(\Delta p)^{0.5}}{N} = \frac{(\quad)}{(\quad)}$$

- b) Usar el factor de corrección del Tubo Pitot para la prueba usada. Prueba No. \_\_\_\_\_, Factor de corrección del Tubo Pitot = \_\_\_\_\_

- c) Cálculo de la presión absoluta de la chimenea.

Presión estática de la chimenea = \_\_\_\_\_ plg H<sub>2</sub>O

La presión de la chimenea puede ser positiva o negativa.

Presión barométrica = \_\_\_\_\_ plg Hg

La presión de la chimenea (Pe) en plg H<sub>2</sub>O manométricas multiplicada por 0.07355 plg Hg/plg H<sub>2</sub>O, más la presión barométrica en plg. de Hg, será igual a la presión absoluta de la chimenea en plg. Hg.

$$P_s = P_e + P_b = (\quad) \text{ plg H}_2\text{O} * 0.0735 + (\quad)$$

$$P_s = \text{_____ plg Hg}$$

$$= \text{_____ mm Hg}$$

d) Cálculo de la velocidad promedio preeliminar, Vch, en pie/seg, como se indica a continuación:

$$V_{ch} = \frac{85.4 * F_{CTP} * (T_{ch} \cdot R)^{0.5} * \text{Promedio } (\Delta p's)^{0.5}}{(P_{Mg} * P_{ch})^{0.5}}$$

$$V_{ch} = \frac{85.4 * F_{CTP} * ( \quad \cdot R)^{0.5} * \text{Promedio } (\Delta p's)^{0.5}}{( \quad * \quad )^{0.5}}$$

$$V_{ch} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ pie/s} = \text{ m/s}$$

#### 4.- CALCULO DEL GASTO VOLUMETRICO EN LA CHIMENEA

$$G_{ch} = V_{ch} * A_{ch} * 60 \text{ s/min}$$

$$G_{ch} = ( \quad ) * ( \quad ) * 60 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ pie}^3 / \text{min}$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3 / \text{min}$$

#### 5.- CALCULO DEL GASTO VOLUMETRICO A TRAVES DEL GASOMETRO SECO EN CADA PUNTO

$$G_g = A_b * V_{ch} * \frac{T_m}{T_{ch}} * \frac{P_{ch}}{P_m} * 60 * f_{gs}$$

donde  $A_b$  es el área de la boquilla

Siempre que la presión del medidor varíe más del 50% de la presión del ducto, se deberá aplicar la corrección de presión como se observa en la ecuación anterior.

$$Gg = ( \quad ) * ( \quad ) * \left( \frac{\quad}{\quad} \right) * \left( \frac{\quad}{\quad} \right) * 60 * ( \quad )$$

$$Gg = \quad \text{pie}^3/\text{min.}$$

La fórmula dará el gasto correcto en el gasómetro en  $\text{pie}^3/\text{min}$  para mantener una velocidad a través de la boquilla igual a la velocidad del gas en la chimenea en el plano transversal del puerto de muestreo y en el punto seleccionado: cuando la presión absoluta en el gasómetro varíe arriba de 5 % en relación a la de la chimenea, se requerirá una corrección por presión.

6.- CALCULO PARA LA DETERMINACION DEL VOLUMEN TOTAL MUESTRADO DEL GASOMETRO A CONDICIONES DEL MEDIDOR.

$$Vt = Vv + Vc$$

donde:

$$Vv = 0.00267 \frac{PTAC * Tm * R}{Pm \text{ plgHg}}$$

Vt = volumen total

Vv = volumen de vapor de agua

Vc = volumen corregido

$$V_t = 0.00267 \frac{( ) * ( )}{( )} = \text{--- pie}^3$$

$$V_t = V_v + V_c$$

$$V_t = ( ) + ( ) = \text{--- pie}^3 = \text{--- m}^3$$

Cálculo del volumen total muestreado por el medidor a condiciones normales:

$$V_{tn} = V_t * \frac{P_n}{P_m} * \frac{T_m}{T_n}$$

donde:

$T_n$  = Temperatura a condiciones normales °R

$P_n$  = Presión normal plgHg

$$V_{tn} = V_t * \frac{( )}{29.92} * \frac{537}{( )}$$

Conversión del gasto de chimenea a condiciones normales:

$$G_{chn} = G_{ch} * \frac{T_n}{T_{ch}} * \frac{P_{ch}}{P_n} =$$

$$G_{chn} = ( ) * \frac{537}{T_{ch}} * \frac{( )}{29.92} =$$

$$G_{chn} = \text{--- pie}^3 / \text{min} = \text{--- m}^3 / \text{min}$$

#### 7.- CONCENTRACION Y EMISION DE MATERIAL PARTICULADO.

$$\text{Peso retenido} = P_r = \text{--- g}$$

$$V_{tn} = \text{--- m}^3$$

$$G_{chn} = \text{--- m}^3 / \text{min}$$



$$C \text{ part} = \frac{\text{Pr}}{\text{Vtn}}$$

$$C \text{ part} = \frac{(\quad)}{(\quad)} = \text{g} / \text{m}^3$$

Emisión de partículas:

$$E = C \text{ part} * G\text{chn} = (\quad) * (\quad) * \frac{(\quad 60)}{1000}$$

$$E = \quad \text{kg} / \text{h}$$

### 8.- CALCULO DEL VOLUMEN DE LA BOQUILLA

a) Volumen de gas seco corregido,  $V_c$  \_\_\_\_\_  $\text{m}^3$

b) Prom. Temp. chim.,  $T_{ch}$  \_\_\_\_\_

c) Prom. Temp. medidor,  $T_m$  \_\_\_\_\_

d) Fracc. Gas seco,  $f_{gs}$  \_\_\_\_\_

$$V_b = \frac{V_c * (T_{ch} / T_m)}{f_{gs}} =$$

$$V_b = \quad \text{pie}^3$$

### 9.- CALCULO DEL % DE ISOCINETISMO

a) Volumen de boquilla,  $V_b$  \_\_\_\_\_  $\text{pie}^3$

b) Area de la boquilla,  $A_b$  \_\_\_\_\_  $\text{pie}^2$

c) Tiempo de muestreo,  $T_M$  \_\_\_\_\_ segundos

d) Velocidad  $V_{ch}$  \_\_\_\_\_  $\text{pie} / \text{s}$

$$\% \text{ ISO} = \frac{V_b}{A_b * T_M * V_{ch}} * 100$$

$$\% \text{ ISO} = \frac{(\quad)}{(\quad) * (\quad) * (\quad)} * 100$$

$$\% \text{ ISO} = \quad$$

Esta memoria de cálculo como podemos ver, se usa para la determinación de la emisión de partículas de cualquier fuente fija. Después se puede elaborar una hoja de resultados para que posteriormente hagamos una tabla comparativa con las Normas que marcan los límites máximos de emisión, ya sea de emisión de partículas de fuentes fijas o el límite de emisión de partículas para equipos de combustión de capacidad mayor a 100 cc.

Para los equipos de combustión mayores a 100 cc que utilizan combustibles líquidos, se necesita determinar además del material particulado, la emisión de óxidos de nitrógeno (monitoreo continuo por quimiluminiscencia o equivalente) y dióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico (por Torino o infrarrojo no dispersivo o equivalente), y monóxido de carbono (monitoreo continuo por celda electroquímica o infrarrojo no dispersivo) (NOM-CCAT-019-ECOL/1993).

Cuando se utilizan combustibles gaseosos en equipos de calentamiento indirecto mayores de 100 CC, sólo se requiere determinar la emisión de NOx y de monóxido, utilizando los métodos anteriormente mencionados para hacer estas determinaciones.

Por lo tanto, requerimos anexar en esta memoria de cálculo, la determinación de dichos contaminantes atmosféricos.

### 3.3.2.- Determinación de $SO_2$

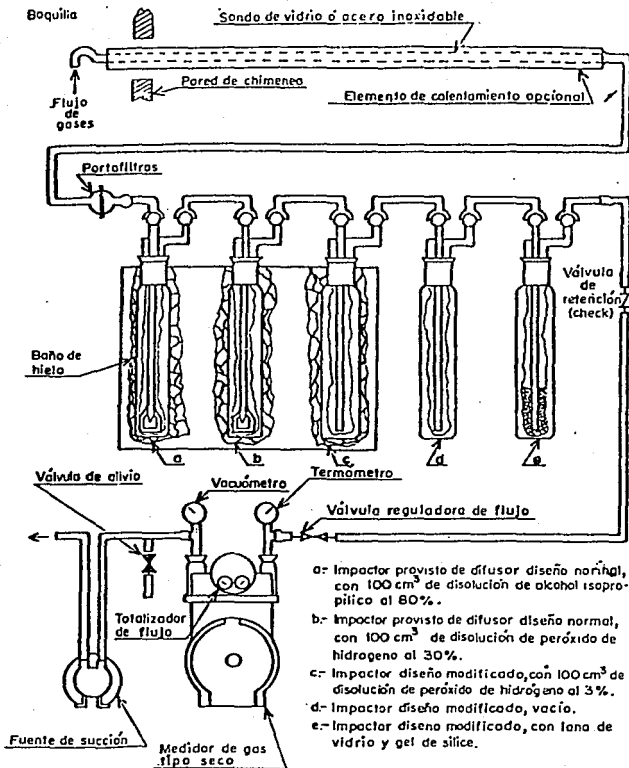
La determinación de  $SO_2$ , se realiza mediante el muestreo y análisis de laboratorio de acuerdo con la metodología indicada en la NOM-AA-55-1980. (Método Torino).

Se extrae una muestra proporcional de los gases, se absorbe el bióxido de azufre en disolución de peróxido de hidrógeno, separando previamente las neblinas de ácido sulfúrico y el trióxido de azufre. Se cuantifica el bióxido de azufre por titulación con el perclorato o cloruro de bario y conociendo el volumen de muestra colectado se determina su concentración; finalmente, por medio de esta última y con el gasto volumétrico, se determina la emisión de bióxido de azufre.

Enseguida se muestra el tren de muestreo para la determinación de dióxido de azufre, mostrado en la norma anteriormente mencionada.

TREN DE MUESTRO PARA LA DETERMINACION DE DIOXIDO DE AZUFRE,  
TRIOXIDO DE AZUFRE Y NEBLINAS DE ACIDO SULFURICO (TORINO)

167



## Memoria de cálculo

## 1.- Volumen de muestra en condiciones normales.

$$V_n = \frac{V_m * T_n * (P_b - P_m)}{T_g * P_n} = \frac{V_c * 537 * P_m}{T_g * 29.92}$$

$$V_n = 17.9479 \text{ °R} = \frac{(\quad)(\quad)}{(\quad)}$$

$$V_n = \text{_____ m}^3$$

2.- Cantidades de SO<sub>2</sub>

$$\text{g de SO}_2 \text{ en la muestra} = \frac{(\text{ml BaCl}_2)(\text{NBaCl}_2)(0.032)(\text{v mues})}{(\text{Vol. de alícuota})}$$

$$N \text{ BaCl}_2 = \quad N$$

$$\text{g de SO}_2 = 0.00032 \frac{(\quad)(\quad)(\quad)(\quad)}{(\quad)}$$

3.- Concentración de SO<sub>2</sub>

$$C \text{ SO}_2 = \frac{\text{g de SO}_2}{V_n} = (\quad) = \text{_____ g/m}^3$$

4.- Emisión de SO<sub>2</sub>

$$E \text{ SO}_2 = C \text{ SO}_2 * G_{chn} * 10^{-3} = (\quad) * (\quad) * 10$$

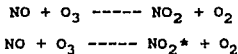
$$E \text{ SO}_2 = \text{_____ kg / h}$$

## 3.3.3.- Determinación de NOx

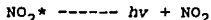
Para la determinación de este contaminante, se realiza un tipo de monitoreo continuo mínimo por 45 minutos, por el método de quimiluminiscencia o equivalente.

**Quimiluminiscencia.-****Principio**

Los analizadores quimiluminiscentes se emplean para medir las cantidades de óxidos de nitrógeno u oxidantes, medidos como ozono. Cuando el NO reacciona con el ozono, se produce una cierta cantidad de especies excitadas de  $\text{NO}_2$ , las que luego pasan al estado básico por la emisión de energía de radiación. La energía radiante es medida por un tubo fotomultiplicador cuya salida eléctrica es amplificada y alimentada a dispositivos adecuados de lectura directa. Las reacciones químicas son:

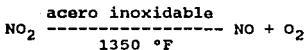


Alrededor del 5 al 10 por ciento de la cantidad total de  $\text{NO}_2$  es producida por la segunda reacción. Luego



El tubo fotomultiplicador recibe la radiación  $h\nu$ . La intensidad de la radiación es proporcional a la cantidad original de NO que está presente en la muestra de gas.

Cuando el  $\text{NO}_2$ , así como el  $\text{NO}$ , está presente en la muestra de gas, éste se hace por un tubo caliente de acero inoxidable, antes de introducirlo en la cámara de reacción quimiluminiscente. La reacción química es:



Por tanto, cuando la muestra de gas contiene tanto  $\text{NO}$  como  $\text{NO}_2$ , es necesario un proceso de dos etapas. Se hace pasar primero el gas por el convertidor de acero inoxidable y luego se le hace reaccionar con el ozono en la cámara quimiluminiscente a fin de obtener el valor de  $\text{NO}$ . La cantidad de  $\text{NO}_2$  en la muestra de gas se determina luego por diferencia.

Según el CFR de la EPA, Método 7E un equipo de medición de  $\text{NO}_x$  por quimiluminiscencia tiene:

- Sonda de muestreo, cable de muestreo, válvula para calibración, sistema de remoción de humedad, filtro para partículas, bomba para muestreo, control de velocidad de flujo de muestreo, distribuidor de muestra de gas, registrador de datos;

-  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}$  convertidor. Esta porción del sistema convierte el dióxido de nitrógeno en la muestra de gas a óxido de nitrógeno. No es necesario el uso de este convertidor cuando la porción de  $\text{NO}_2$  es menor del 5 % del total de la concentración de  $\text{NOx}$ .

- Analizador de  $\text{NOx}$ .- Analizador basado en los principios de quimiluminiscencia, para determinar la concentración continua de  $\text{NOx}$  en la corriente de gas muestreado. Deberá estar provisto de un medio para controlar la velocidad de flujo y un aditamento apropiado para determinar la velocidad de flujo del gas muestreado.

- Gases para calibración de  $\text{NOx}$ .- Los gases de calibración para el analizador de  $\text{NOx}$  deberán ser  $\text{NO}$  en  $\text{N}_2$ .

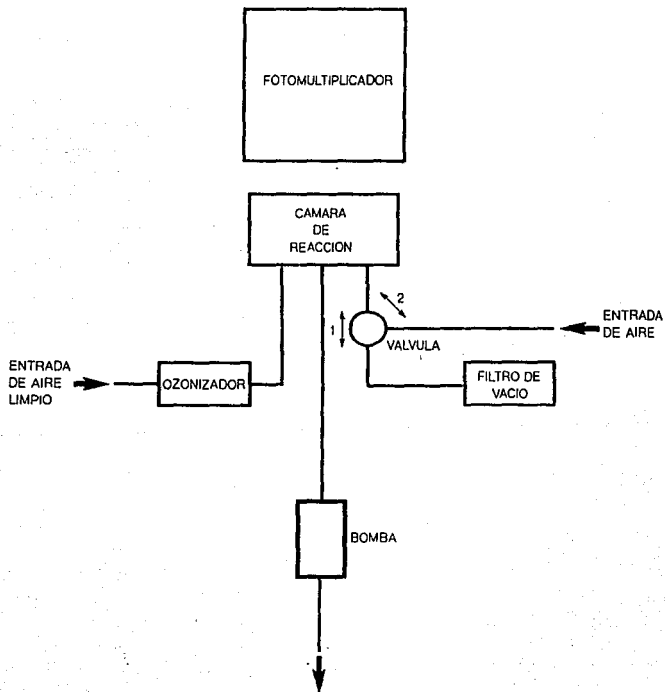
En términos generales el procedimiento de medición consiste en lo sig.:

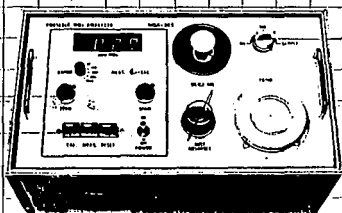
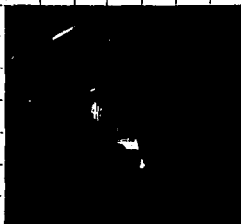
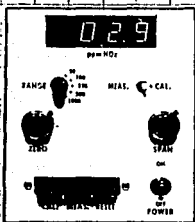
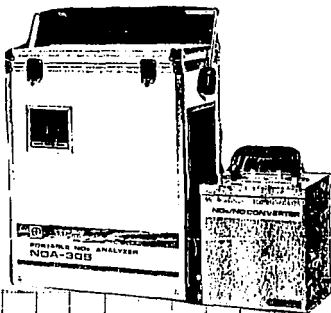
- Antes de efectuar cualquier medición se debe verificar la calibración de la concentración de gas.
- Llevar a cabo una prueba de interferencia de respuesta
- Checar la eficiencia del convertidor de  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}$ .
- Armar el equipo de muestreo
- Tomar lectura mínima de 45 min, de preferencia 60 min.

A continuación se muestra un diagrama de flujo y un modelo de equipo de monitoreo continuo para determinación de  $\text{NOx}$ .



## ANALIZADOR DE QUIMILUMINISCENCIA DE OXIDOS DE NITROGENO





Zero/span adjust

Calibration - Measure -  
Range select

Calibration gas - variable gas switching

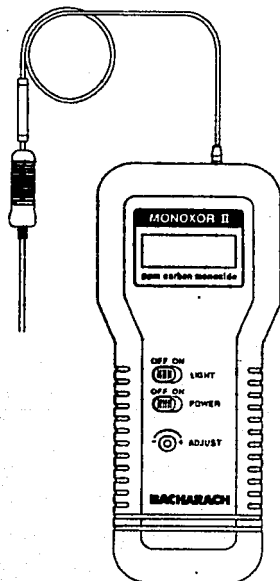
### 3.3.4.- Determinación de CO

Este tipo de medición se puede realizar con un aparato de celda electroquímica que detecta este contaminante.

Las celdas electroquímicas se emplean para medir la corriente inducida por la reacción electroquímica de una selección de contaminantes del aire, en un electrodo sensor. El gas que se ha de detectar, en este caso CO, se difunde a través de una membrana semipermeable hasta pasar a la celda. La tasa de difusión es proporcional a la concentración de la especie por la que se tiene interés. Cuando se emplea un electrolito oxidante de la celda, se liberan electrones en el electrodo sensor, por la reacción electroquímica de oxidación. La producción de electrones causa que el electrodo esté a un potencial más bajo en relación con el contraelectrodo. Fluirá una corriente de electrones, la que se puede amplificar por un equipo electrónico apropiado. La selectividad de la celda se determina por la membrana semipermeable, el electrolito, los materiales del electrodo y el potencial retardador.

Un modelo de equipo de celda electroquímica para medición de CO, que se utiliza actualmente es el siguiente:

## EQUIPO ANALIZADOR DE CO POR CELDA ELECTROQUIMICA



El dispositivo infrarrojo no dispersivo, utilizado para medir los gases que absorben las radiaciones infrarrojas, como el monóxido de carbono. En este dispositivo se utilizan como autodetectoras las especies por medir. El método de medición se basa en el principio de la absorción selectiva. Una determinada longitud onda de energía infrarroja, específica a un gas dado, será absorbida por dicho gas, mientras que se transmitirán otras longitudes de onda. La banda de absorción del monóxido de carbono, por ejemplo, se halla entre 4.5 y 5  $\mu\text{cm}$ .

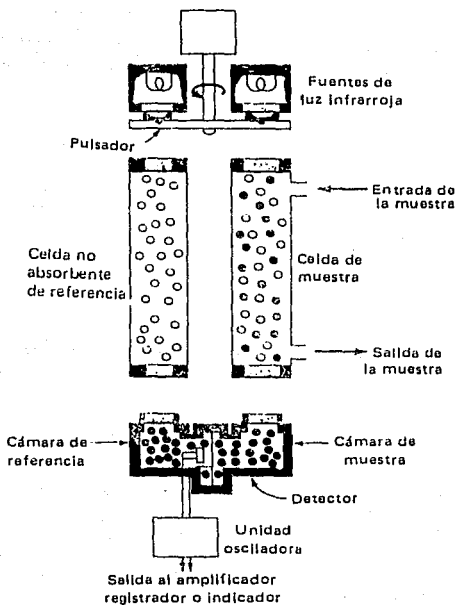
El detector consiste de dos cámaras, como se muestra en la siguiente figura, las que tienen volúmenes iguales y que están separadas por un diafragma metálico flexible y un botón metálico estacionario. El botón metálico y el diafragma forman un capacitor. Las dos cámaras inferiores que se muestran en la figura, contienen cantidades iguales del gas que interesa medir. Dos fuentes infrarrojas idénticas dirigen la radiación a través de las dos celdas o cámaras idéntica separadas, las que aparecen en el centro de la figura. Una cámara, llamada celda de referencia, está llena de un gas inerte, por lo general nitrógeno. La otra celda, llamada celda de muestra, es un tubo a través del cual fluye el gas por analizar. Cuando está presente, la especie gaseosa que interesa, absorbe la radiación infrarroja en una cantidad directamente proporcional a la concentración molecular del componente que interesa. No ocurre ninguna absorción

infrarroja en la celda de referencia. Después de pasar ya sea por la celda de referencia o la celda de muestra, absorbe el gas en las celdas detectoras. Esta absorción de la energía radiante hace que el gas que está en la celda de referencia se caliente a una temperatura más alta que la del gas en la celda del detector de muestra. Como las dos celdas detectoras están selladas, la presión resulta más elevada en el detector de referencia que en la celda del detector de muestra, y el diafragma se flexionará. La desviación resultante en la capacitancia es directamente proporcional a la concentración de la especie que interesa, la que se encuentra en la celda de muestra.

Se coloca un pulsador entre las fuentes infrarrojas y las celdas de muestra de referencia, para suministrar una señal de corriente alterna a fin de mejorar las características de los circuitos electrónicos requeridos. Se emplean filtros para bloquear todas las longitudes de onda de la radiación infrarroja con excepción de las que estén dentro del rango de absorción del gas sometido a análisis. Por tanto, será necesario utilizar dos instrumentos diferentes si están juntos dos o más gases que absorban la radiación infrarroja, en la corriente del gas de muestra.

A continuación se muestra la figura que representa un analizador infrarrojo no dispersivo.

## ANALIZADOR INFRARROJO NO DISPERSIVO



Según NOM-PA-CCAT-019/93, los equipos de combustión cuya capacidad calorífica sea menor de 100 cc, sólo requieren que se les sea determinada la densidad de humo obteniendo el Número de mancha o el % opacidad así como la emisión de CO. Estos parámetros se solicitan tanto para equipos que utilicen combustibles líquidos o gaseosos.

### 3.3.5.- Determinación de la densidad de humo y análisis de gases (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>)

La densidad de humo se determina con una medición puntual llevada a cabo con equipos comerciales que se llevan a campo. El aparato está diseñado para succionar una muestra de gas y provocar una caída de presión a través de un papel filtro entre 1730 a 8530 Pa, sobre el cual se deposita la cantidad de hollín que se emite por el ducto. El filtro debe quedar instalado a la entrada del dispositivo y perpendicular al flujo de la muestra de los gases de combustión succionados, los cuales deben de pasar uniformemente a través del filtro. La mancha de hollín que se deposita sobre el papel filtro se compara visualmente con una tabla en la cual al colocar el papel resultante bajo cada una de las escalas de color se determina el número correspondiente a la tonalidad del color de la mancha de hollín. Esta muestra debe hacerse por triplicado siguiendo las especificaciones de cada equipo.

A su vez cada número de mancha corresponde a un porcentaje de capacidad reflectora o de opacidad.



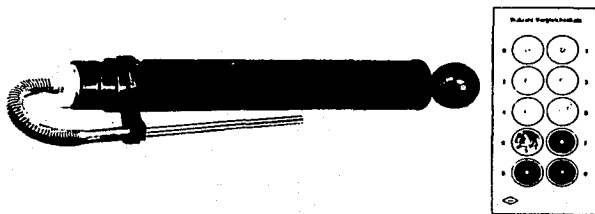
El puerto de muestreo debe estar localizado por lo menos a un diámetro de la base de la chimenea y el doble del diámetro antes del regulador de flujo.

El diámetro del puerto de muestreo debe ser igual al diámetro exterior de la sonda de muestreo, evitando infiltraciones de aire ambiente.

Para muestrear se introduce la sonda de muestreo a una tercera parte del diámetro de la chimenea.

En caso de que se tenga un regulador en menos de tres diámetros de la base de la chimenea, el puerto de muestreo se localizará al centro de la base y el regulador de flujo.

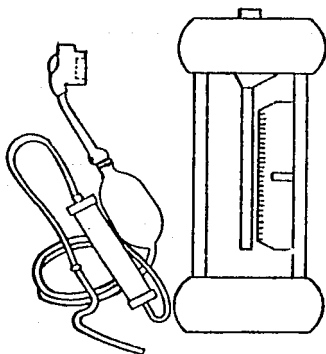
El diseño comercial de un equipo de campo que se puede utilizar para realizar esta determinación, se muestra enseguida:



Como podemos observar, tanto la medición de CO y del número de mancha para equipos de calentamiento indirecto de capacidad térmica menor a 100 cc, es sencilla y cada empresa podría comprar sus equipos de medición para realizar internamente estas evaluaciones así como reportarlas ante la Secretaría de Desarrollo Social.

Para el control de la combustión de estos equipos se puede además contar con un analizador de gases de combustión (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) tipo Orsat, cuyo principio ya se explicó para la determinación de la composición de los gases de combustión.

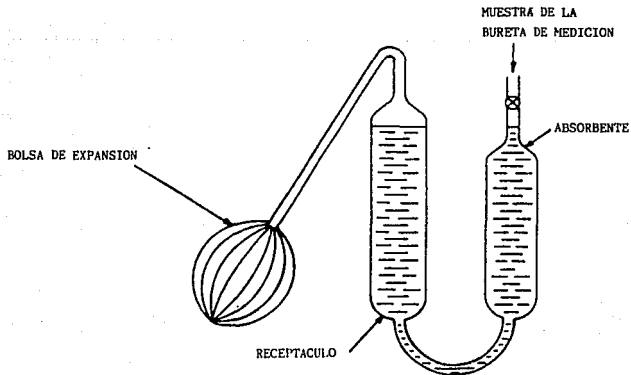
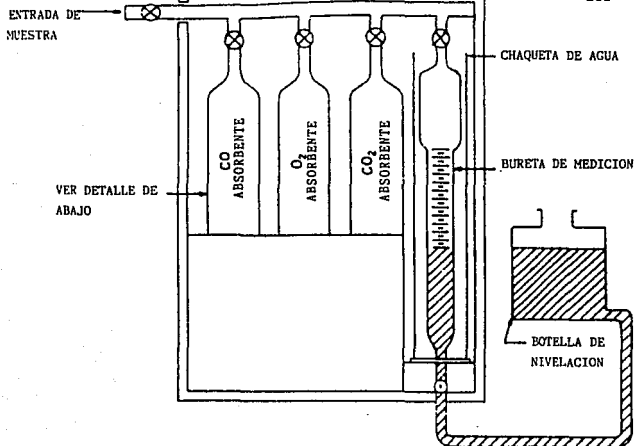
Enseguida mostramos un ejemplo del tipo de equipos comerciales que se utilizan para realizar esta medición:



ANALIZADOR DE GASES COMO CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> POR EL METODO ORSAT TIPO FYRITE

ANALIZADOR DE GASES (CO, CO2, O2) POR EL METODO ORSAT

182



**3.4 .- Programa de monitoreo de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas en una industria farmacéutica**

Un programa de monitoreo debe contener la siguiente información:

- 1.- Las fuentes fijas que comprenden las operaciones o actividades donde se generen los contaminantes y su localización;
- 2.- La descripción del tipo de contaminante (polvos, gases, etc);
- 3.- El tipo de muestreo para cada contaminante (isocinético, proporcional, continuo);
- 4.- El equipo para efectuar cada monitoreo;
- 5.- El método de medición y la frecuencia.

A continuación se presenta una tabla que resume un programa de monitoreo de fuentes fijas:

**PROGRAMA DE MONITOREO DE FUENTES FIJAS PARA UNA INDUSTRIA FARMACEUTICA**

OPERACION	CONTAMINANTE	TIPO DE MUESTREO	EQUIPO	PRINCIPIO DE MEDICION	FRECUENCIA
GRANULADO	PARTICULAS	ISOCINETICO	MANUAL O SEMIAUTOMATICO	CAPTACION EN MEDIO FILTRANTE Y PESADO	1 VEZ POR AÑO
SECADO DE GRANULADO	PARTICULAS	ISOCINETICO	MANUAL O SEMIAUTOMATICO	CAPTACION EN MEDIO FILTRANTE Y PESADO	1 VEZ POR AÑO
TABLETEADO	PARTICULAS	ISOCINETICO	MANUAL O SEMIAUTOMATICO	CAPTACION EN MEDIO FILTRANTE Y PESADO	1 VEZ POR AÑO
GRASADO CONVENCIONAL	PARTICULAS	ISOCINETICO	MANUAL O SEMIAUTOMATICO	CAPTACION EN MEDIO FILTRANTE Y PESADO	1 VEZ POR AÑO
ENCAPSULADO EN CONTENEDOR DURO	PARTICULAS	ISOCINETICO	MANUAL O SEMIAUTOMATICO	CAPTACION EN MEDIO FILTRANTE Y PESADO	1 VEZ POR AÑO
PREPARACION DE JARABES	PARTICULAS	ISOCINETICO	MANUAL O SEMIAUTOMATICO	CAPTACION EN MEDIO FILTRANTE Y PESADO	1 VEZ POR AÑO
PREPARACION DE SUSENSIONES	PARTICULAS	ISOCINETICO	MANUAL O SEMIAUTOMATICO	CAPTACION EN MEDIO FILTRANTE Y PESADO	1 VEZ POR AÑO
GENERACION DE VAPOR	PARTICULAS	ISOCINETICO	MANUAL O SEMIAUTOMATICO	CAPTACION EN MEDIO FILTRANTE Y PESADO	10-3,000 CC 1 VEZ/AÑO > 3,000 CC 1 VEZ/6 MESES
	NO. COMBUSTIBLES LIQUIDOS Y GASEOSOS	CONTINUO	AUTOMATICO	OLUMBLINORUCENCIA	>100 1 VEZ/AÑO 1,200-3,000 CC 1 VEZ/6 MESES >3,000 CC PERMANENTE
	CO. COMBUSTIBLES LIQUIDOS Y GASEOSOS	CONTINUO	ELECTRONICO	CELDA ELECTROQUIMICA INFRARROJO	<100 CC 1 VEZ/3 MESES 100-3,000 CC 1 VEZ/6 MESES >3,000 CC PERMANENTE
	SO2	PROPORCIONAL	MANUAL	TORNIO, IR, UV SEGUN CAPACIDAD	1 VEZ POR AÑO 0.01-0.100 CCI PERMANENTE > 3,000 CCI

## CAPITULO IV

## CONTROL DE EMISIONES

## 4.1.- Estrategias de control

La tecnología de control de emisiones contaminantes a la atmósfera se ha desarrollado y difundido ampliamente en las últimas dos décadas. En la actualidad, prácticamente no existe ningún tipo de contaminante de origen industrial que no pueda ser removido.

Como ya hemos revisado anteriormente, en el capítulo segundo del presente trabajo, el tipo de emisiones contaminantes que genera la industria farmacéutica principalmente son:

- polvos (proceso de tableteado por ejemplo)
- productos de la combustión de combustibles líquidos y gaseosos (gases como: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas y hollín)

Las estrategias industriales de reducción de emisiones contaminantes para el control de este tipo de emisiones pueden ser:

- Mejoramiento o cambio de combustible y materias primas
- Optimización de los procesos de combustión
- Instalación de equipos de combustión y de producción de baja emisión de contaminantes.
- Instalación de equipos de control de partículas y gases.

La sustitución de combustible ha demostrado ser efectiva para la disminución de la emisión de partículas de equipos pequeños o viejos, sin embargo, es dependiente de la disponibilidad de los combustibles y del nivel de reducción de emisión que se desee. Esta estrategia repercute también en la disminución de la emisión de óxidos de azufre y de nitrógeno.

La posibilidad de cambio en el proceso (cambio de materias primas) es la alternativa económicamente más atractiva para reducir las emisiones y si se mejora la operación del mismo, se puede lograr reducir pérdidas y disminuir el costo de un equipo de control por disminución de la carga a remover.

La tabla siguiente, nos permite analizar cómo podemos controlar o reducir las emisiones provenientes del proceso de combustión principalmente:

### ESTRATEGIAS GENERALES DE CONTROL PARA LAS EMISIONES DE SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> Y PARTICULAS

CATEGORIA	TECNOLOGIA	Reducción SO <sub>x</sub>	Reducción NO <sub>x</sub>	Impacto sobre part.	APLICABILIDAD
Mejoramiento de combustible	Reducción del contenido de azufre en el combustible	significativa	no significativa	significativa	alta
Cambio de combustible	Cambio de combustible a gas natural o diesel	significativa	muy significativa	muy significativa	alta
Ahorro de energía (Control de la Combustión)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mejoramiento de la recuperación de calor</li> <li>Optimización del flujo de aire</li> <li>Relación baja de aire / combustible</li> </ol>	no significativa		media	alta

## ESTRATEGIAS GENERALES DE CONTROL PARA LAS EMISIONES DE SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> Y PARTICULAS

*continuación*

CATEGORIA	TECNOLOGIA	Reducción SO <sub>x</sub>	Reducción NO <sub>x</sub>	Impacto sobre part.	APLICABILIDAD
Mejoramiento del Método de Combustión	1. Mejoramiento de las condiciones de operación:				
	- baja relación aire/combustible	--	muy significativa	aumento	alta
	- carga reducida en la cámara de combustión	-	muy significativa	disminución	alta
	- reducción de la temperatura de precalentamiento del aire	--	muy significativa	tiende al aumento	mediana
	2. Modernización del equipo de combustión:				
	- quemadores de bajo NO <sub>x</sub>	--	20 - 45%	aumento	pequeño a mediano
	- combustión en dos etapas	-	20 - 45%	aumento	mediana
	- combustión fuera de estequiometría	--	20 - 45%	aumento	solamente para más de dos quemadores
	- recirculación de gases de combustión	--	20 - 45%	disminución	mediana
	- inyección de vapor/agua	-	20 - 45%	disminución	alta
- desnitrificación en la cámara de combustión (metodo OFA)	--	30 - 40%	aumento	mediana	
- desnitrificación en la cámara de combustión (metodo MACT)	--	50%	aumento	mediana	
3. Combustión de emulsiones		muy significativa con la adición de metales alcalis	30-50%	reducción 20-40%	alta



La decisión de qué tipo de equipo es conveniente para cada proceso industrial depende de varios factores entre los que se encuentran: la tecnología empleada, la magnitud del control requerido, el tiempo en que se espera obtener dicho resultado y las condiciones de financiamiento del equipo de control.

En cuanto al nivel de control requerido, se debe pensar tanto en lograr el cumplimiento de los límites establecidos actualmente por la regulación así como en las tendencias en los límites que éstas puedan ir sufriendo.

Una vez establecido el objetivo de la instalación del equipo de control y conociendo las características de la corriente gaseosa se puede proceder a la selección del equipo de control más adecuado ya que actualmente existen numerosos dispositivos disponibles.

#### 4.2.-Control de partículas

La colección de polvos es la separación y recolección de partículas finas de un gas.

Para el sistema de control de emisiones que contienen un alto de contenido de partículas sólidas es necesario considerar tres factores:

- a) forma de las partículas
- b) como se les va a transportar las partículas
- c) qué tratamiento y acondicionamiento se le aplicará

Con estas premisas se proyectan los sistemas de control denominados colectores de polvos.

Existen en el mercado numerosos diseños de colectores de partículas, para una buena selección del equipo se deben considerar los siguientes factores:

##### 1.- Costo del control de emisión

En este factor se debe incluir: espacio para instalar el sistema de colección, costos de operación e instalación, estructura soporte, acondicionamiento del gas, potencia de succión de los materiales y aprovechamiento del material colectado.

## 2.- Características del material particulado

Las partículas cumplen un amplio rango en carga y tamaño de partícula, que van desde 0.24 hasta 50 gramos de polvo por metro cúbico de aire y un tamaño que va desde un diámetro de 0.0001 a 10,000 mm. Además también una partícula tiene propiedades higroscópicas, electrostáticas, adhesivas y de absorción.

## 3.- Características de la corriente gaseosa

Las características de la corriente del gas tienen una marcada influencia sobre la selección del equipo considerando para un buen diseño las siguientes propiedades: temperatura, humedad, presión, flujo, composición del gas.

## 4.- Sistema de colección requerido

Dependerá de la localización de la planta, el manejo de materiales, la caída de presión y la cantidad de materiales colectados.

La separación de partículas en colectores puede efectuarse por diferencia entre el gas y las partículas. En general la eficiencia de colección  $N$  se determina mediante la siguiente relación:

$$N = \frac{\text{Peso de polvo colectado}}{\text{Peso de polvo alimentado}} \times 100$$

#### 4.2.1.-Colectores de polvos

Los tipos de colectores de polvos o partículas que pueden instalarse para separar y colectar las partículas contenidas en las emisiones industriales se clasifican de la forma siguiente:

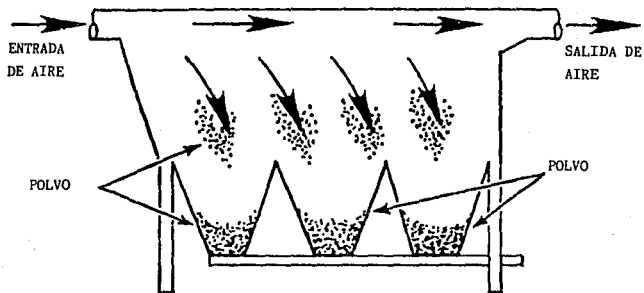
a) Colectores gravitacionales.- que son cámaras donde se propicia la disminución de la velocidad de los gases de emisión, lo cual permite la separación y colección de las partículas a través de su sedimentación por gravedad.

Este método es aplicable cuando la velocidad de sedimentación de la partícula a remover sea mayor a 25 pies/min (13 cm/s), lo que generalmente corresponde a partículas de baja densidad de diámetro superior a los 50  $\mu$ m o de 10  $\mu$ m si el material es más denso. No se aplica para partículas más pequeñas ya que éstas requerirían distancias excesivas de flujo.

Para que una cámara no resuspenda las partículas ya asentadas, la velocidad del gas deberá ser uniforme y baja - menor de 10 pies/s (300 cm/s).

Podemos encontrar dos tipos de cámaras de sedimentación: horizontales o verticales, dependiendo de la dirección del flujo.

A continuación se muestra un arreglo de una cámara de sedimentación:

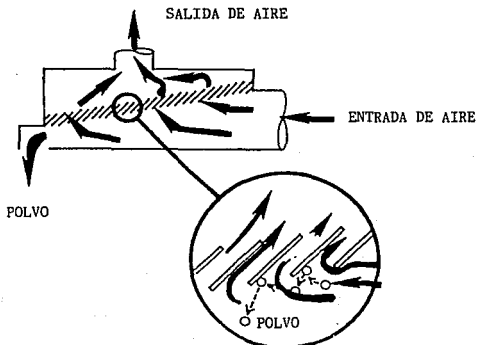


\* La cámara de sedimentación por gravedad es de construcción simple, pero su eficiencia de recolección es baja.

b) Colectores inerciales.- los cuales provocan que la corriente gaseosa se colapse contra las placas deflectoras, ocasionando los cambios bruscos de la dirección del flujo de gas que permiten la separación y colección de las partículas por medio de fuerzas inerciales.

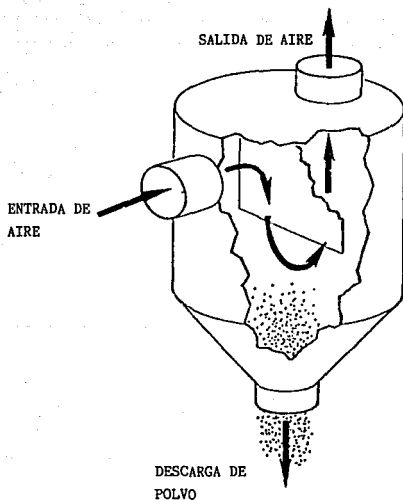
El gas es dirigido hacia abajo a través de una cámara que tiene una placa deflectora o baffle alrededor de la cual el gas es deflelado, mientras que las partículas más grandes tienden a continuar moviéndose hacia abajo para ser colectadas en una tolva para ser removidas posteriormente.

La eficiencia de colección está en función del tamaño de la partícula y la velocidad del gas. A continuación se muestran dos modelos diferentes de colectores inerciales: el separador LOUVER y el colector BAFFLE.



11 DEBERÍA COLOCARSE OTRO COLECTOR MAS EFECTIVO ENSEGUIDA DEL SEPARADOR LOUVER.

## COLECTOR BAFFLE



\* EL COLECTOR BAFFLE ES SIMILAR A LA CAMARA DE SEDIMENTACION SOLO QUE OCUPA MENOR ESPACIO

c) Colectores centrifugos.- los cuales provocan la separación de las partículas mediante fuerzas centrifugas que promuevan su precipitación. En esta clasificación se encuentran los separadores ciclónicos.

Los separadores ciclónicos son dispositivos purificadores del gas que emplean la fuerza centrifuga generada haciendo girar una corriente de gas con el fin de separar las partículas (sólidas o líquidas) del gas que las transporta. Su mecanismo es el siguiente:

El gas junto con el material entra generalmente al ciclón en la parte superior de la parte cilíndrica y fluye hacia abajo en forma rotatoria o de espiral tocando las paredes del cilindro. Cuando el gas llega al cono, la velocidad se incrementa por la disminución del radio del orificio, provocando con ello que las partículas queden separadas del gas acumulándose en las paredes del cono mientras son llevadas hacia abajo debido a la fuerza centrifuga causada por la velocidad del gas y las paredes del ciclón. Una vez separadas las partículas del gas en el fondo, éste fluye hacia arriba en forma de espiral nuevamente para salir. Las partículas colectadas en la tolva son posteriormente recolectadas por medio de una válvula rotativa o un transportador de tornillo.

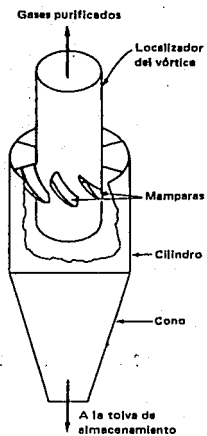
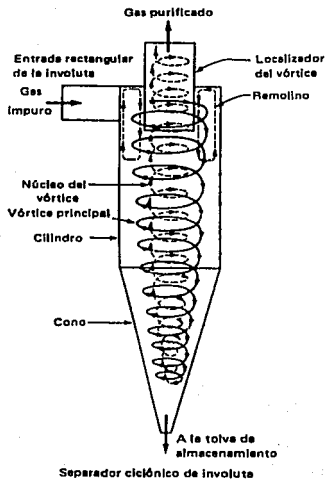
El arreglo puede ser de una unidad simple o de unas cuantas



El arreglo puede ser de una unidad simple o de unas cuantas en serie o paralelo. El arreglo en serie mejora la eficiencia de remoción mientras en paralelo se obtiene un aumento en la capacidad volumétrica. Existen dos clases principales de separadores ciclónicos; los axiales y los tangenciales que se diferencian por la forma de introducción del gas al casco cilíndrico.

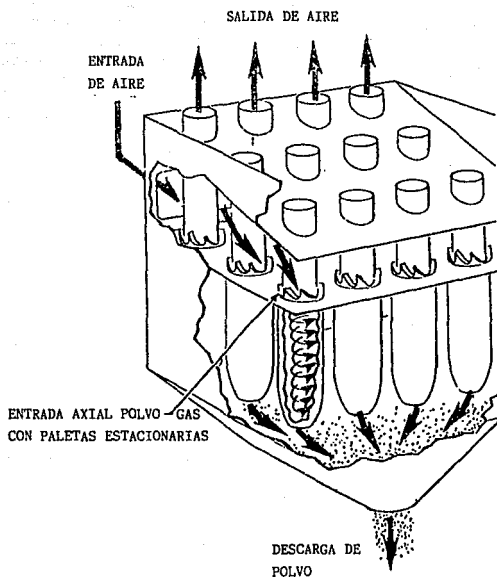
Por lo general, el separador ciclónico se utiliza para eliminar partículas con tamaño de 10  $\mu\text{m}$  o mayor. Las variables de diseño que afectan la eficiencia de operación son: la altura de los cilindros, la longitud del cono, la altura de los cilindros, la longitud del cono, la altura y ancho de la entrada rectangular del gas, el diámetro de la partícula, el número de revoluciones que gira el gas antes de su salida.

A continuación se muestran diferentes arreglos de ciclones:



Separador centrífugo de mamparas axiales (ciclónico)

## CICLON MULTIPLE



\* LA EFICIENCIA DE UN CICLON PUEDE ELEVARSE COLOCANDO VARIAS UNIDADES PEQUEÑAS EN PARALELO

d) Colectores húmedos o lavadores (scrubbers).- los cuales son equipos que permiten que la corriente gaseosa sucia se colapse o tenga contacto con gotas de agua o de otros fluidos, removiendo de esta forma las partículas para su posterior separación.

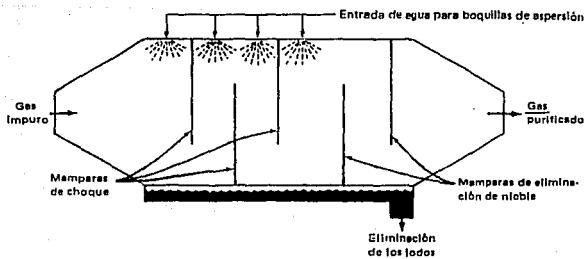
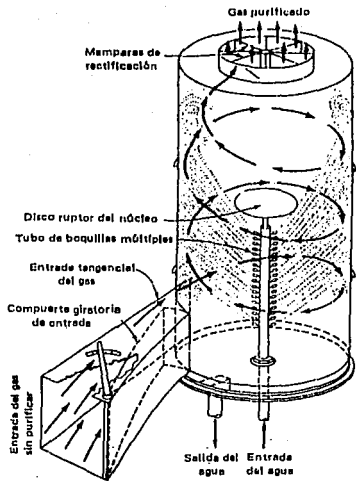
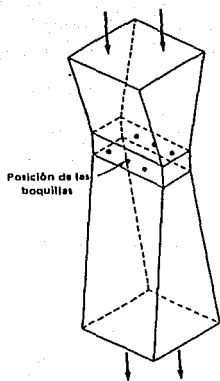
Este método es aplicable para partículas finas de diámetro entre 0.1 y 20  $\mu\text{m}$ .

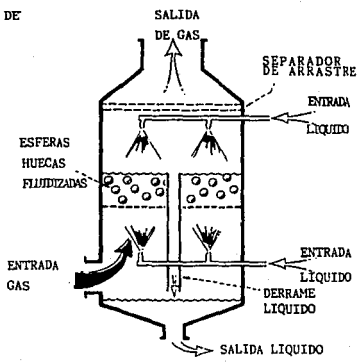
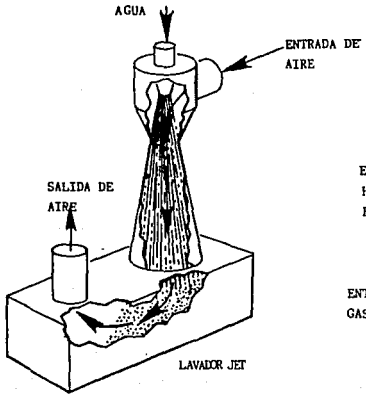
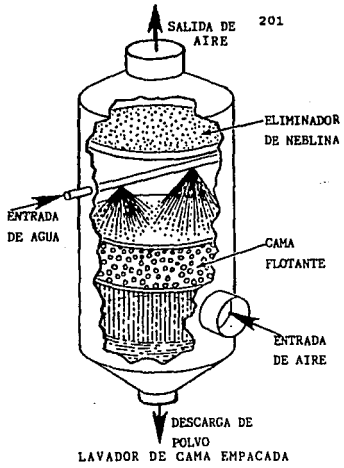
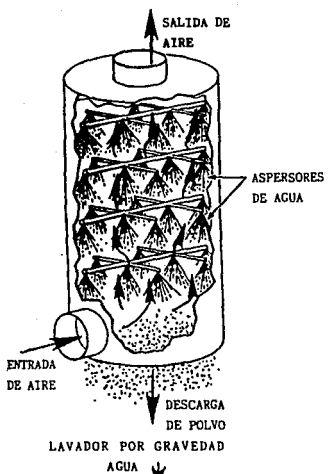
Los colectores húmedos ofrecen ciertas desventajas que no se encuentran con los equipos secos, como es el manejar lodos húmedos y el que la presencia del agua tiende a aumentar la corrosividad de los materiales.

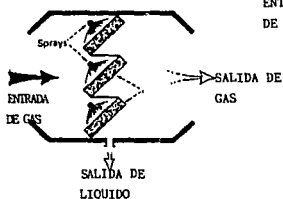
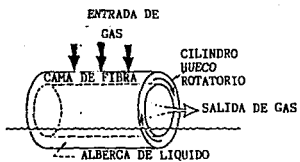
Existen tres diferentes tipos de colectores húmedos:

- 1) lavadores de cámara de aspersion (con o sin placas de choque);
- 2) lavadores ciclónicos;
- 3) lavadores venturi.

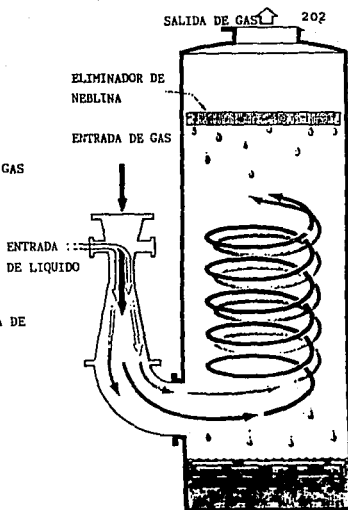
Enseguida se esquematizan varios modelos de estos 3 tipos de equipo.



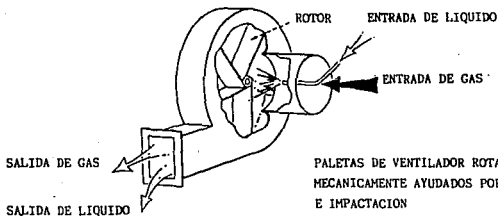




DOS DISEÑOS DE LAVADORES DE CAMA DE FIBRA



LAVADOR VENTURI EQUIPADO CON CICLON Y MALLA ELIMINADORA DE NEBLINA



PALETAS DE VENTILADOR ROTATORIO MECANICAMENTE AYUDADOS POR ATOMIZACION E IMPACTACION

e) Colectores de polvo por filtración.- donde la separación de las partículas ocurre al hacer pasar la emisión a través de un medio filtrante, por ejemplo tela.

Los filtros de tela utilizan un material granular o fibroso con estructura porosa que retiene las partículas según pasa el gas que las transporta a través de los espacios vacíos en el filtro. Por lo general se limpian en el mismo sitio, periódicamente a intervalos relativamente cortos de tiempo.

Los filtros de tela tienen eficiencias del 99% o más cuando colectan partículas de 0.5  $\mu\text{m}$  y pueden remover cantidades considerables de partículas de 0.01  $\mu\text{m}$ . Las cargas de partículas que pueden manejar oscilan entre 0.1 g/pie<sup>3</sup> y 10 g/pie<sup>3</sup>. Se dispone de una amplia variedad de telas entre las que se incluye la lana, el nylon, el algodón, las fibras de vidrio, los poliésteres y las poliamidas aromáticas. La selección de la tela depende de la composición química, temperatura y contenido de humedad del gas así como de la composición física y química de las partículas.

Una de las desventajas de los filtros es la necesidad de limpieza con frecuencia a fin de evitar caídas de presión excesivas.

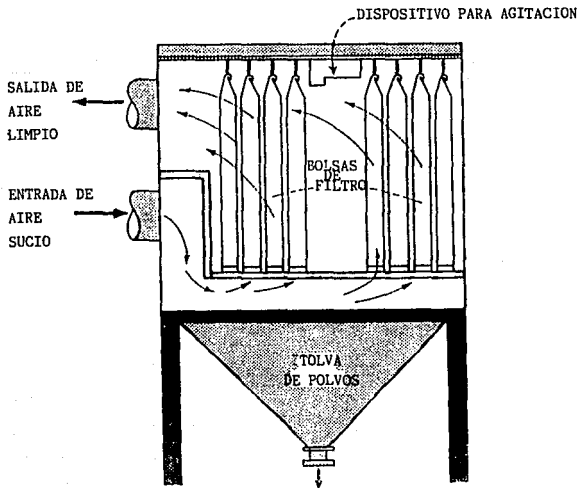
Dentro de este tipo de colectores, encontramos un colector de bolsas con sacudimiento mecánico, el cual utiliza telas



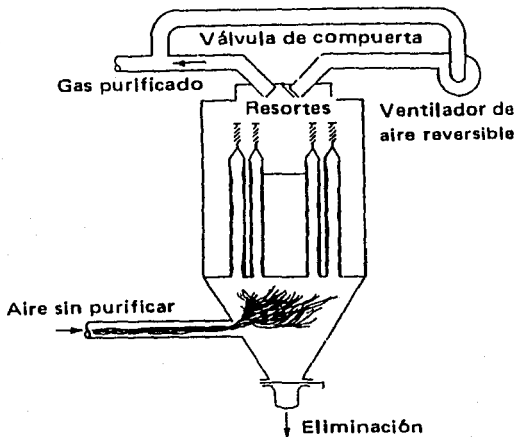
tejidas como medio filtrante, las cuales son filtros de superficie.

El ciclo de filtrado es el siguiente: El gas con polvo que entra al colector se encuentra primero con una placa de choque, debido al rápido cambio de velocidad y dirección las partículas más grandes caen en la tolva. El polvo más fino y el gas viajan hacia la parte superior del colector acumulándose dentro de las bolsas filtrantes, pasando a través de ellas la corriente del gas libre de polvo. Las bolsas filtrantes se limpian mediante sacudimiento mecánico. A continuación se muestra un esquema que ilustra el funcionamiento anteriormente descrito:

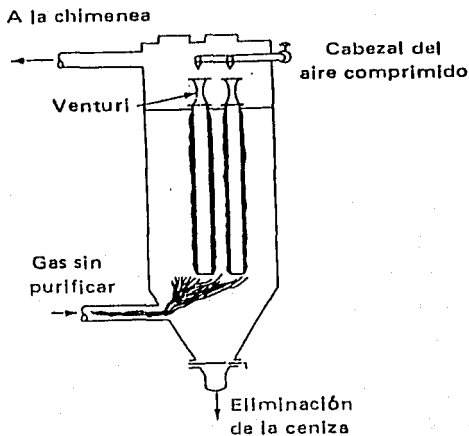
#### FILTRO DE MANGAS (BAGHOUSE)



Además de este tipo de limpieza, existe otro que utiliza un aire para limpieza que fluye a través de la bolsa en la dirección opuesta. Esta operación se realiza en el momento apropiado en el que se corta el flujo de aire contaminado al compartimiento. A continuación se muestra una figura que muestra este tipo de colectores.



Por último podemos mencionar, otro tipo de colector de bolsas diferente a los dos anteriores, ya que en este tipo las partículas se acumulan en la parte exterior de las bolsas, mientras que en los dos anteriores casos, las partículas se recogen en el interior de las bolsas. En un instante apropiado, se dirige un corto impulso hacia abajo, a través de un venturi situado en la parte superior de la bolsa. El impulso pasa rápidamente hacia la parte inferior de la bolsa desprendiendo de la bolsa grandes capas de polvo. Estos grandes trozos de polvo se asientan por gravedad en el fondo de la casa de bolsas. Como el tiempo de limpieza de la bolsa es muy corto, y sólo una fracción de las bolsas se limpia cada vez, se mantiene sólo un flujo continuo a través del colector de bolsas. Este tipo de colector de bolsas maneja la velocidad de filtración más alta de los tres tipos. Enseguida se muestra un esquema de este tipo:



f) Precipitadores electrostáticos.- en los cuales la separación y colección de las partículas ocurre mediante la aplicación de una fuerza electrostática, que ocasiona la migración de las partículas cargadas electrostáticamente hacia placas colectoras de carga contraria. Otros colectores de este tipo se usan para condensar y aglomerar partículas finas con el uso de fuerzas electrostáticas de cohesión.

Entre sus ventajas están la capacidad de manejar grandes volúmenes de gas, altas eficiencias entre 98 - 99.9 %. La caída de presión por lo general muy pequeña, extendiéndose de 01 a 0.5 plg de agua. Se puede aplicar a corrientes con temperaturas de los gases de hasta 920 °K y presiones de hasta 150 lb/plg<sup>2</sup>. Además, es importante tener en cuenta que la energía gastada es en la separación de las partículas de una corriente de gases de escape, y no sobre la corriente de gas. Esto resulta único para los equipos de colección en el campo de la contaminación del aire, ya que otros dispositivos con diferentes principios de separación requieren gasto de energía sobre toda la corriente de gas, a fin de cumplir el efecto deseado.

El proceso de precipitación electrostático consiste en 3 fases:

a) Carga de partículas:

Cuando el gas conteniendo las partículas entran a un precipitador, fluye a través de una región denominada "región espacio del ión negativo" donde instantáneamente adquieren una carga de equilibrio.

b) Colección de partículas:

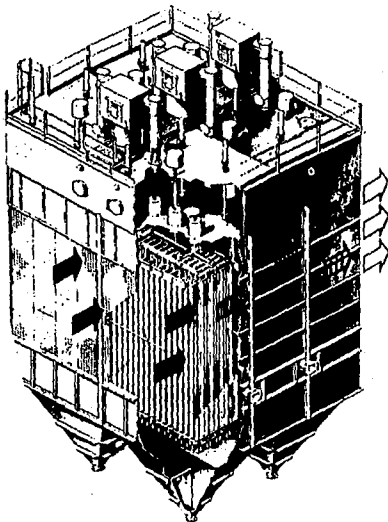
La partícula cargada se conduce a través de un campo eléctrico en donde las fuerzas eléctricas causan que las partículas emigren hacia la superficie colectora. En este instante las partículas son separadas de los gases de la superficie colectora.

c) Desalojo de partículas:

A las partículas pegadas a la pared se les sustrae la carga eléctrica inducida, precipitándose las partículas a tolvas donde son recolectadas.

A pesar de ser costoso este equipo, entre sus ventajas que nos ofrece están sus requerimientos de mantenimiento son bajos y que no existe limitante de temperaturas de flujo para su aplicación.

A continuación se muestra un diseño de precipitador electrostático.



A continuación aparece una lista de los cuatro tipos básicos de equipos de control de partículas, además de algunas de las situaciones en las cuales cada uno de ellos son más efectivos. Se debe tener en cuenta que esta lista es general, y se pueden presentar muchas situaciones excepcionales.

1.- Los ciclones se usan por lo general cuando:

- a) el polvo sea grueso;
- b) las concentraciones sean bastante altas ( $> 1\text{g}/\text{pie}^3$ );
- c) se desea la clasificación de las partículas;
- d) no se requiera una eficiencia muy alta

2.- Los lavadores húmedos se usan por lo general cuando:

- a) sea necesario eliminar partículas finas a una eficiencia relativamente alta;
- c) los gases sean combustibles
- d) sea necesario eliminar los contaminantes tanto gaseosos como partículas.

3.- Los filtros de tela se utilizan por lo general cuando:

- a) se requieran eficiencias muy altas;
- b) se hayan de coleccionar materiales secos de valor comercial;
- c) el gas esté siempre por arriba del punto de rocío;
- d) los volúmenes sean razonablemente bajos;
- e) las temperaturas sean relativamente bajas.

4.- Los precipitadores electrostáticos se usan por lo general cuando:

- a) se requieren eficiencias muy altas para la eliminación de polvos finos;
- b) se deban manejar volúmenes de gas;
- c) sea necesario recuperar materiales valiosos son modificaciones físicas.



#### 4.3. Control de gases NOx, SO2 y CO

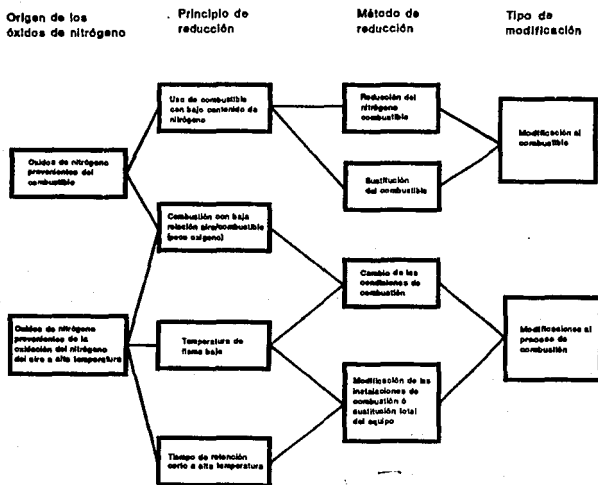
Los óxidos de nitrógeno provienen principalmente de los procesos de combustión, donde el nitrógeno contenido en el aire empleado para la atomización y quema de combustible se oxida en una reacción favorecida por altas temperaturas. Asimismo, la oxidación del nitrógeno fijo contenido en el combustible genera cantidades adicionales a dicho contaminante.

La tecnología disponible incluye desde el uso de combustibles con bajo contenido de azufre y nitrógeno fijo, el control y la modificación de los procesos de combustión, hasta el tratamiento de los gases de combustión en chimenea.

El primer enfoque tiene un carácter preventivo y su aplicación permite una reducción significativa (alrededor del 50 %) en la generación de NOx.

A continuación se esquematizan las medidas de control que se pueden aplicar en fuentes fijas o estacionarias para disminuir las emisiones de NOx.

## PRINCIPIOS Y METODOS PARA EL ABATIMIENTO DE LOS OXIDOS DE NITROGENO



Entre las técnicas de prevención más comunes están las que promueven la utilización de quemadores de baja emisión de óxidos de nitrógeno, combustión en dos etapas, recirculación de gases de combustión y en algunos casos, la distribución estratégica de los quemadores.

Los quemadores de baja generación de óxidos de nitrógeno permiten una combustión con poco oxígeno y reducen el tiempo de retención de los gases en la cámara de combustión.

La combustión en dos etapas es una opción tecnológica que permite la liberación del nitrógeno en su forma original. En la primera etapa, el combustible se quema con una cantidad deficiente de aire para prevenir la formación de los óxidos de nitrógeno, mientras que en la segunda etapa, se realiza la recirculación de los gases de combustión para completar el proceso. El resultado neto es un abatimiento significativo de este contaminante.

Por lo general todas estas técnicas, o al menos algunas de ellas, se aplican en forma conjunta para lograr reducciones importantes.

Para el control de las emisiones en la chimenea, la tecnología disponible incluye los procesos de reducción catalítica selectiva y no selectiva, la absorción y la adsorción.

En otros procesos de tratamiento químico es posible reducir simultáneamente las emisiones de óxidos de nitrógeno y de dióxido de azufre. Las eficiencias de remoción de los equipos y procedimientos de control antes descritos son casi del 90%.

A continuación se esquematizan los tratamientos para control de óxidos de nitrógeno:

#### Procesos consecutivos

Reducción catalítica no selectiva de óxidos de nitrógeno con metano, monóxido de carbono o hidrógeno

Adsorción de dióxido de azufre a óxido de cobre formando sulfato de cobre con el cual se realiza una reducción catalítica de los óxidos de nitrógeno con amoníaco a nitrógeno

Reducción selectiva no catalítica de los óxidos de nitrógeno con amoníaco a temperaturas mayores a 800 °C

Reducción selectiva catalítica de óxidos de nitrógeno con amoníaco

#### Procesos simultáneos

Formación de complejos de óxido de nitrógeno en una solución de carbonato de sodio. Simultáneamente absorción de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, reducción del complejo de óxido de nitrógeno y del nitrato con sulfitos a nitrógeno

Oxidación de óxido de nitrógeno con  $O_3$  o dióxido de cloro a dióxido de nitrógeno, el cual se absorbe con dióxido de azufre en solución alcalina. Después, reducción del nitrato con sulfito a nitrógeno

Oxidación del monóxido de nitrógeno con ozono a dióxido de nitrógeno, que se absorbe con dióxido de azufre en una solución de amoníaco, oxidación del sulfito y dióxido de nitrógeno con aire para formar sulfatos y nitratos

Adsorción de óxidos de nitrógeno o dióxido de azufre en carbón activado, reducción de los óxidos de nitrógeno con amoníaco a nitrógeno, oxidación del dióxido de azufre con oxígeno a sulfato para formar con vapor de agua en carbón activado ácido sulfhídrico

Según la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la contaminación ambiental en el Valle de México, en México, se deberá proceder al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno derivadas de la combustión de gasóleo industrial, diesel y gas licuado de petróleo y gas natural.

Resumiendo todo lo anterior, las acciones prioritarias para controlar las emisiones de los óxidos de nitrógeno son:

- La optimización de los procesos de combustión
- El control automático de la relación aire/combustible
- La sustitución y mejoramiento de combustibles
- La instalación de quemadores de alta eficiencia y baja emisión de óxidos de nitrógeno
- La instalación de sistemas de recirculación de gases de combustión
- La implantación de la combustión en dos pasos.

Finalmente, para el control de la emisión del monóxido de carbono, tomando en cuenta que su formación es debido a una combustión baja en oxígeno, el método más práctico de reducir su emisión de fuentes fijas de combustión consiste en el diseño, instalación, operación y mantenimiento adecuados del equipo de combustión.

### CONCLUSIONES

La industria farmacéutica como cualquier otro tipo de industria requiere para la elaboración de sus productos de la utilización de equipos denominados fuentes fijas dentro de la normatividad en materia de protección al medio ambiente.

Actualmente existe una normatividad específica a fuentes fijas o estacionarias, que obliga en nuestro caso en particular a la industria farmacéutica, a que dichas fuentes generadoras de contaminantes atmosféricos (polvos principalmente y productos de combustión producidos por la operación de sus equipos generadores de vapor), sean evaluadas y controladas.

El cumplimiento de la evaluación de estos contaminantes, de acuerdo con la normatividad actual aplicable a cada una de las fuentes de emisión, requiere de la utilización de diferentes métodos de monitoreo normados, como son el monitoreo de partículas y el de gases de combustión.

Es necesario que la realización de un monitoreo cumpla con los lineamientos establecidos y de ser posible ser realizada por empresas autorizadas por la Secretaría de Desarrollo Social, para que las evaluaciones sean conducidas correctamente para ser aprobadas posteriormente. Otra alternativa será que cada planta tenga el equipo y el

personal capacitado para poder llevar a cabo sus propias evaluaciones, previa autorización de la Secretaría de Desarrollo Social.

Es por eso que la finalidad del presente trabajo, a través de sus distintos capítulos fué el de presentar la manera en que se debe desarrollar un programa de monitoreo de emisiones atmosféricas enfocado principalmente a la industria farmacéutica. Dicho programa ayuda a cumplir con las regulaciones y trámites que deberán llevarse a cabo para cumplir con la normatividad que en materia de emisiones contaminantes provenientes de fuentes fijas, está vigente.

El interés por profundizar en el conocimiento de los métodos que se requieren para llevar a cabo las evaluaciones de contaminantes atmosféricos como partículas y gases, así como de los posibles métodos para el control de la emisión de los mismos, se ve reflejado a lo largo de la realización del presente trabajo.

Finalmente, se concluye que debido a que día con día, la humanidad nos exige un mejoramiento del ambiente en el que vivimos y que las regulaciones se vuelven cada vez más estrictas, la tendencia actual de la industria no solo farmacéutica, sino de todas las ramas industriales en general, será modificar o controlar los procesos actuales y/o

desarrollar nuevos que eviten la contaminación no sólo del aire, sino de todo el medio ambiente.

Con lo anterior, la industria farmacéutica además de elaborar productos que cumplan con todas las especificaciones de calidad, protegerá el medio ambiente, requisito indispensable para la continuidad de la cadena productiva en armonía con la ecología.



## BIBLIOGRAFIA

- Agua: Materia Prima de alto riesgo. Ponentes: Q.F.B: Juan Fco. Herrea, Ma. de Jesús F. Ramos S.
  
- Casavento V. and Staff of Chemical Engineering; Industrial Air Pollution Engineering. McGraw-Hill Publications Co. N.Y.1980.
  
- Casero G.; Metodología para la realización de auditorías ambientales en plantas industriales; Tesis; Facultad de Química, UNAM, México 1991.
  
- Corbitt Robert.A.; Standard Handbook of Environmental Engineering. McGraw-Hill. 1990
  
- Curso de Sistemas de recubrimiento de formas farmacéuticas sólidas para uso oral.
  
- Farmacopea Nacional de los Estados Unidos Mexicanos, 5a. edición .
  
- Gaceta ecológica No. 1, 1989, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
  
- Gaceta ecológica No. 5, 1989, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

- Gaceta ecológica No. 9, 1989, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
- Helman, J. Farmacotecnia: teórica y práctica. Tomo IV. Ed. Continental S.A. de C.V.
- Introduction to Stack Sampling for Particulates; Lear Siegler, Inc. Environmental Technology Division, Colorado, USA. 1973.
- Jiménez M. Aspectos teóricos de la tecnología de formas farmacéuticas sólidas: Tabletas y grageas. Trabajo monográfico. México D.F. 1986.
- King, E.R.; Tablets, Capsules and Fills; in Remington's Pharmaceutical Sciences; Usol A Editors; Mack Publishing Company; Easton USA 1980.
- Lachman, L. The Theory and Practice of Industrial Pharmacy. 2nd edition. Leo & Febirg Editors. Philadelphia. 1976.
- Martindale, The Extra Pharmacopea, 26th edition, London, The Pharmaceutical Press
- Metodos de emisión de fuentes de emisiones atmosféricas de la Environmental Protection Agency 40 CFR, 7-1-91 edition.

- Métodos de medición de emisiones en chimeneas. Notas de curso de formación de consultores impartido por SEDESOL, septiembre-octubre 1991.
  
- Monitoreo de gases y partículas en una fuente fija. NOVUM Corporativo S.A. de C.V. Gerencia de ecología y seguridad industrial, agosto 1991.
  
- NOM-AA-09-1973
- NOM-AA-10-1974
- NOM-AA-114-1991
- NOM-AA-35-1976
- NOM-AA-54-1978
- NOM-AA-55-1979
  
- Parrot, E. Pharmaceutical Technology, Fundamental Pharmaceutics; Burgess Publishing Company. 3rd edition, 1971.
  
- Programa para el control de emisiones contaminantes al aire provenientes de la industria en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, publicado por la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la contaminación ambiental en el Valle de México. 24 Marzo 1992.
  
- Revista Ingeniería Ambiental de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. Año 4 No. 13, 1991

- Stationary source emissions- Determination of concentration and mass flow rate of particulate material in gas carrying ducts- Manual gravimetric method; International Standard ISO 9096; First edition 15-06-1992.

- Strauss, W; Mainwaring S.J.; Contaminación del aire, causas efectos y soluciones; editorial Trillas, México D.F. 1990.

- Wark K.; Warner C.F.; Contaminación del aire, origen y control; editorial Limusa, México D.F. 1992.