

24/1/67



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

PREDICCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LAS EMISIONES DE SO₂ Y H₂S EN EL C. P. Q. POZA RICA, VER., USANDO EL MODELO DE DIFUSIÓN GIFFORD Y PASQUILL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
SALVADOR RAMIREZ ALMORA



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.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACION ATMOSFERICA	4
II.1. HISTORIA DEL PROBLEMA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.	
II.2. CONCEPTOS BASICOS	
II.3. TIPO DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	
II.4. PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	
III. METEOROLOGIA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA	20
III.1. PRINCIPALES PARAMETROS METEOROLOGICOS QUE INTERVIENEN EN LA DISPERSION DE CONTAMI-- NANTES	
III.2. INFORMACION METEOROLOGICA DE LA ZONA DON-- DE ESTA UBICADO EL C.P.Q. POZA RICA, VER.	
IV. MODELO DE GIFFORD Y PASQUILL	37
IV.1. DESCRIPCION DEL MODELO	
IV.2. ECUACIONES ESPECIFICAS DEL MODELO DE -- GIFFORD Y PASQUILL	
V. DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE EMI-- SION DE SO ₂ Y H ₂ S DEL C.P.Q. POZA RICA, VER.	51
V.1. CHIMENEA DE LA PLANTA DE AZUFRE	

V.2. QUEMADOR ELEVADO

VI. PREDICCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LAS EMISIONES DE SO_2 Y H_2S EN EL C.P.Q. POZA RICA, VER.	68
---	----

VI.1. CHIMENEA DE LA PLANTA DE AZUFRE

VI.2. QUEMADOR ELEVADO

VII. CONCLUSIONES	89
-------------------	----

VIII. BIBLIOGRAFIA	92
--------------------	----

I. INTRODUCCION

La contaminación atmosférica, dondequiera que se presente, es una amenaza para la salud y el bienestar humano, pero también es un problema social, político y económico. Ha surgido como consecuencia de la búsqueda de mejores condiciones de vida y afecta a todos los sectores de la población.

En muchas regiones del mundo, incluyendo México, el aire sensiblemente contaminado no se limita ya a las grandes ciudades y distritos industriales; pues ha habido casos en que se han presentado indicios de contaminación atmosférica en regiones bastante alejadas de los centros de contaminación. Así, recientemente, bajo circunstancias meteorológicas adversas se cubrieron de niebla-humo durante varios días; grandes zonas en varios estados al este del río Misisipi, en U.S.A. En Escandinavia, se atribuye a contaminantes arrastrados desde Alemania e Inglaterra la creciente acidez de suelos y aguas. Un transporte análogo dio origen, probablemente, a la nieve negra caída en el sudoeste de Suecia en diciembre del 1969. En Japón, las nieblas humo han llegado incluso a Shikoku, la menor de las cuatro principales islas japonesas, arrastradas al parecer 100 Km desde las grandes ciudades industriales del país.

Los efectos nocivos de la contaminación del aire en el simple aspecto económico comprenden daños a los materiales, a las cosechas y al ganado. Numerosos contaminantes del aire corroen o ensucian tejidos, revestimientos de superficies, metales de estructuras y otras substancias. A muchos cultivos valiosos les afecta la contaminación del aire; una exposición continuada aun a niveles bajos de dióxido de azufre (SO_2), causa daño foliar a árboles y a muchas plantas de hoja ancha. Incluso a 0.1 ppm puede deteriorar cultivos sensibles como alfalfa, cebada, trigo y manzanas. En Inglaterra los costos de limpieza y reparación de daños debido al aire contaminado se estima en unos 150 millones de libras esterlinas anualmente. En E.E.U.U. se suele estimar 11000 millones de dólares al año; de los cuales 500 millones de dólares, corresponden al perjuicio total agrícola debido al aire contaminado.

En la ciudad de México y en varias regiones de nuestro país, la contaminación atmosférica es un grave problema que es urgente y necesario buscar soluciones sistemáticas para detenerlo y controlarlo.

Los modelos de difusión de gases contaminantes son herramientas que proporcionan información útil en la toma de decisiones para el control y abatimiento de la contaminación atmosférica. El propósito de este estudio, es ejemplificar el uso del modelo de Gifford y Pasquill; pero también es-

timar el impacto, que por contaminación atmosférica, producen las emisiones de SO_2 y H_2S del Complejo Petroquímico Poza Rica, Ver., en sus áreas circunvecinas. He escogido este modelo por ser el que más aplicaciones podría tener.

II. GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACION ATMOSFERICA

II.1. HISTORIA DEL PROBLEMA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Desde épocas remotas el hombre siempre se ha preocupado por obtener mejores condiciones de vida. Así, descubrió el fuego, inventó la rueda y edificó ciudades. Lógicamente que estos beneficios adquiridos, originaron que el hombre empezase a contaminar su medio ambiente.

Después que se introdujo el carbón bituminoso como fuente de energía, en el siglo XIII, las industrias crecieron; por lo tanto la cantidad de humo emitida a la atmósfera también creció.

En 1306, un bando del Parlamento inglés decretaba que durante sus sesiones los artesanos e industriales de Londres quemaran madera en vez de carbón. Poco tiempo después fue ejecutado un hombre por quebrantar esta primera norma sobre contaminación del aire. En 1661, John Evelyn publicó un folleto que atacaba violentamente la cantidad del aire de Londres en esa época.

Pero fue en la época de la revolución industrial, cuando la contaminación del aire alcanzó mayores proporciones.

En esta época se inventó la máquina de vapor; se crearon nuevos medios de transporte tales como locomotoras, buques de vapor, automóviles y aviones. Todos estos inventos favorecieron el crecimiento de la contaminación del aire, a tal grado de ser perjudicial para la salud.

La gran preocupación del hombre por el medio ambiente, no fue sino hasta que la historia registró hechos de lúgubre espectacularidad. Los sucesos del Valle de Mosa, Donora, Poza Rica y Londres, por poner algunos ejemplos solamente, fueron los que motivaron a los gobiernos de diferentes países a promulgar leyes y decretos sobre la calidad del aire.

II.1.1. Valle de Mosa, 1930

Una inversión térmica y las condiciones climatológicas de la zona industrial del Valle de Mosa, Bélgica; provocaron una alta concentración de contaminantes, los primeros tres días de diciembre de 1930. Este problema afectó gravemente la salud de los habitantes del citado valle; algunos de los padecimientos fueron: dolores en el pecho, dolor de cabeza, grave irritación de las vías respiratorias, dolor en los pulmones, tos, etc. Durante el episodio 60 personas murieron y muchas quedaron gravemente lesionadas de las vías respiratorias. También el ganado murió.

Se infiere que la concentración de dióxido de azufre, SO_2 , durante el episodio fue de 25 a 100 mg/m^3 (9.6 a 38.4 ppm).

II.1.2. Donora, 1948

Donora, ciudad industrial al sur de Pittsburgh, situada a la orilla de un río, limitada por montañas de poca pendiente. Esto favoreció que en los días 23 al 30 de Octubre de 1948, se presentara una inversión térmica, provocando una alta concentración de contaminantes procedentes de las siderúrgicas. Este problema perjudicó gravemente la salud de los habitantes de esta ciudad, principalmente de las vías respiratorias. Durante el episodio 20 personas murieron.

II.1.3. Poza Rica, 1950

El 24 de Noviembre de 1950, en Poza Rica, Ver., se produjo un problema de salud por el deterioro de la maquinaria de tratamiento de gas natural de la Refinería. La fuga de ácido sulfhídrico, H_2S , que duró de 20 a 25 minutos bastó para que 22 personas murieran y 320 sufrieran grave intoxicación, con alteraciones en el aparato respiratorio, ojos y otros órganos. También una gran cantidad de animales murió.

II.1.4. Londres, 1952

La aparición de mezclas niebla-humo (Smog) de Diciembre de 1952, en Londres, causaron la muerte de casi 4000 personas en una semana y 8000 más en los tres meses siguientes. Sin duda, gran parte de las víctimas, eran enfermos de las vías respiratorias, pero esto no atenuaba la gravedad del desastre, que condujo a la Clean Air Act de 1956.

II.2. CONCEPTOS BASICOS

II.2.1. Contaminación

La ley federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental, define el concepto contaminación como: "la presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna, o degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, de los recursos de la Nación en general, o de los particulares".¹

1. S.S.A., ref. 4.

II.2.2. Contaminante

Esta misma ley, define a contaminante como: "toda materia o substancia, o sus combinaciones o compuestos derivados químicos y biológicos, tales como humos, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos y desperdicios, y cualquiera otros que al incorporarse o adicionarse al aire, agua o tierra, puedan alterar o modificar sus características naturales o las del medio ambiente; así como toda forma de energía, como calor, radioactividad, ruidos, que al operar sobre o en el aire, agua o tierra, altere su estado normal".

II.2.3. Medio Ambiente

La ecología, ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos con el medio ambiente, define a Medio ambiente como: "el espacio que ocupa cada ser vivo, humano, vegetal o animal en el que trata de encontrar todo lo que satisfaga sus necesidades".

El hombre tiene que considerar que en relación al tamaño de la tierra, la capa de aire que envuelve a nuestro planeta, es tan delgada como la cáscara de una manzana; una corteza aún más delgada que esta capa, y que cubre la superficie del planeta, contiene toda la tierra útil y toda el agua de que pueden disponer todos los habitantes del globo. A esta

finísima envoltura de aire, y a la delgada corteza de tierra y agua se le llama "Biósfera", y, es la que permite, propiamente, la existencia de todos los seres vivos. Este es desde el punto de vista de la ecología, el medio ambiente del que dependen nuestras vidas.

II.2.4. Contaminación Atmosférica

Las normas inglesas, definen la contaminación atmosférica como: "la presencia en el aire de sustancias extrañas, sean estas gaseosas, sólidas o la combinación de ambas, en cantidad y durante un tiempo de permanencia que puedan provocar efectos nocivos para la salud humana y un deterioro de los bienes de uso y del paisaje".²

Esta definición implica, por consiguiente, la necesidad de medir la cantidad o concentración de los distintos contaminantes dispersados dentro de la capa de aire, que sirve de sustento vital al hombre.

En relación a los contaminantes gaseosos, la concentración de éstos en el aire puede obtenerse, usando equipo adecuado o mediante el uso de los modelos de difusión de gases

2. Giorgio J.A. Del, ref. 8

contaminantes.

II.3. TIPO DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

Las sustancias contaminantes del aire se clasifican en dos grupos: gases y partículas.

II.3.1. Gaseos

Los contaminantes gaseosos siguen muy aproximadamente las leyes de los gases ideales. Los más comunes en zonas urbanas e industriales son: monóxido de carbono, óxidos de azufre y de nitrógeno, ozono e hidrocarburos.

En relación a su toxicidad, los contaminantes gaseosos producen una serie de efectos nocivos en el ser humano y su medio ambiente, tales como irritación en los ojos, nariz y garganta; complicaciones en los sistemas circulatorio y respiratorio; dolor en los huesos, etc.

Además, atacan a muchos metales y piedras de construcción; deterioran equipo eléctrico; dañan a tejidos, superficies pintadas, papel y cuero.

Desde el punto de vista de su medición, los contaminantes gaseosos se miden en partes por millón (ppm) o en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), con la recomendación de que cualquier unidad que se use deberá ser congruente en todos los contaminantes:

Se han propuesto las siguientes relaciones, que deberán usarse, cuando se quiera pasar de una unidad a otra. Las ecuaciones (2.1) y (2.2) son para condiciones normales (25°C y 1 Atmósfera); y las ecuaciones (2.3) y (2.4) son para condiciones atmosféricas diferentes a las normales.

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{ppm} \times \frac{\text{PM}}{24,450} \times 10^6 \quad \text{---} \quad (2.1)$$

$$\text{ppm} = \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \frac{2.445 \times 10^{-2}}{\text{PM}} \quad \text{---} \quad (2.2)$$

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{ppm} \times \frac{\text{PM}}{\text{V}} \times 10^6 \quad \text{---} \quad (2.3)$$

$$\text{ppm} = \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \frac{\text{V}}{\text{PM} \times 10^6} \quad \text{---} \quad (2.4)$$

donde:

PM: es el peso molecular del contaminante, en g.

V: es el volumen molar del aire, en ml/mol

10^6 : es el factor para convertir gramos (g.) a microgramos (μg).

El volumen molar debe estimarse mediante la ley de los gases ideales:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

donde:

P_1, V_1, T_1 : se refieren a las condiciones atmosféricas estándar (0°C y 1 Atmósfera)

P_2, V_2, T_2 : se refieren a las condiciones atmosféricas diferentes a las estándar.

II.3.2. Partículas

Las partículas son una clasificación amplia de contaminantes que pueden ser sólidas o líquidas, las cuales se emiten en los procesos de combustión, clasificación de materiales y por arrastre de tierra por la acción de tolvaneras.

La contaminación atmosférica por partículas necesita serias atenciones por los siguientes motivos:

1. Algunas partículas se comportan sinérgicamente y aumentan los efectos tóxicos de otros contaminantes.
2. La contaminación por partículas aumenta la turbi-

dez atmosférica y reduce la visibilidad.

3. Las partículas al sedimentarse provocan ensuciamiento en los bienes de uso (automóviles y edificios).

II.4. PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

El aire de las grandes ciudades y zonas industriales contiene una gran cantidad de contaminantes. En este apartado, me limitaré a describir los más representativos debido a su toxicidad y daré mayor énfasis a los contaminantes tratados en este estudio.

II.4.1. Oxidos de Azufre

El óxido de azufre que se emite a la atmósfera en mayores cantidades es el dióxido de azufre, SO_2 . Lo acompaña por lo común una pequeña cantidad de trióxido de azufre, SO_3 , pero en general en un porcentaje que no rebasa el 1 o el 2 por ciento del SO_2 . En conjunto, ambos óxidos se designan como SO_x .

El dióxido de azufre es un gas incoloro y no inflamable con unos puntos de fusión y ebullición respectivos de $-75.5^{\circ}C$ y $-10^{\circ}C$. Presenta un olor acre e irritante a concentraciones superiores a 3.0 ppm.

El trióxido de azufre es un gas incoloro y muy reactivo que puede condensarse fácilmente hasta formar un líquido (p.eb. = 44.8°C).

En condiciones normales no se encuentra SO_3 en la atmósfera debido a que reacciona rápidamente con la humedad, formando ácido sulfúrico (H_2SO_4). Este último compuesto es bastante nocivo no sólo para las plantas, sino también para los materiales de construcción.

El dióxido de azufre es un gas que produce corrosión, deterioro o decoloración de ciertos materiales de construcción, herrajes, cuero y hojas de plantas. También produce efectos nocivos a la salud humana. En la tabla 2.1 se resumen los efectos que el dióxido de azufre presenta en el ser humano y los vegetales a diferentes concentraciones.

TABLA 2.1.
EFECTOS DEL SO_2 SOBRE EL HOMBRE Y LAS PLANTAS

Concentración (ppm)	Efecto
0.1	Daña el follaje de las plantas
0.3	Umbral para el reconocimiento de sabores
0.5	Umbral para el reconocimiento de olores
3.0	Percepción del olor
5.0	Origena ahogo
6 - 12	Causa irritación inmediata en la garganta
10	Causa irritación en los ojos
20	Causa tos inmediata
50 - 100	Dolor en los pulmones
400 - 500	Puede causar la muerte instantáneamente

FUENTE: Stoker and Seager, ref. 3.

El dióxido de azufre se emite a la atmósfera al quemar combustibles fósiles (petróleo y gas natural) que contienen impurezas de azufre, principalmente, ácido sulfhídrico, H_2S .

El ácido sulfhídrico, H_2S , es un gas muy tóxico e inflamable; ataca al organismo, principalmente, de las vías respiratorias e irrita los ojos severamente. A las condiciones ambientales ($25^{\circ}C$ y 1 Atm.), el sulfhídrico es más pesado que el aire por lo que tiende a acumularse en las partes bajas de la atmósfera; es incoloro y de olor característico a huevos podridos.

Este contaminante se encuentra comunmente en áreas aledañas a instalaciones petroleras: Baterías de separadores gas - aceite, Centrales de Almacenamiento de crudo, etc.

El sulfhídrico (H_2S) merece serias atenciones por las siguientes razones: es un contaminante que daña no sólo a los bienes de la Nación, sino también al de los particulares; produciendo corrosión y deterioro en los materiales de construcción, metales de estructuras, daña a las superficies pintadas y representa graves riesgos debido a su inflamabilidad.

En relación a los efectos tóxicos que provoca en el ser humano, la tabla 2.2 resume estos efectos.

TABLA 2.2
EFFECTOS DEL H₂S SOBRE EL HOMBRE

Concentración (ppm)	Tiempo de Exposición	Efecto
0 - 20		Percepción del olor
20 - 150		Causa irritación de los ojos
50 - 100	30 min - 1hr	Causa conjuntivitis, irritación de las vías respiratorias
100 - 150	2 - 15 min.	Causa tos, irritación de los ojos, pérdida de la sensibilidad del olfato
150 - 200	1 - 4 hrs	Causa dificultad para respirar visión velada.
250 - 350	8 - 48 hrs	Secreción dolorosa de lágrimas, cansancio, hemorragia y muerte.

FUENTE: Pemex, ref. 18.

II.4.2. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono (CO), es el contaminante del aire más abundante y ampliamente distribuido en la capa inferior de la atmósfera. Es un gas incoloro e insípido; es un poco menos denso que el aire y es casi insoluble en agua. Es inflamable y arde con llama azul.

Desde el punto de vista de su toxicidad, el monóxido de carbono puede producir ciertos efectos nocivos a la salud humana, tales como dolor de cabeza, somnolencia, cansancio, afecta al sistema nervioso central y puede impedir la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, debido a su capacidad de reaccionar con la hemoglobina.

Este contaminante proviene tanto de fuentes naturales (fuegos forestales) como de fuentes artificiales (combustión incompleta de hidrocarburos).

II.4.3. Oxidos de Nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno, principalmente óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) se forman durante los procesos de combustión a altas temperaturas como resultado de la combinación de nitrógeno y oxígeno presentes en los gases de salida, como por ejemplo en máquinas de combustión interna, vehículos y plantas generadoras de energía eléctrica (Termoeléctricas).

El gran peligro que presentan los óxidos de nitrógeno, radica, en que con la acción de la luz solar pueden producir otros contaminantes secundarios más tóxicos, como el ozono (O₃) y el nitrato de peroxiacilo (PAN).

II.4.4. Ozono

El ozono (O_3) es un contaminante gaseoso que puede ser peligroso en concentraciones superiores a 0.1 ppm durante una hora, produciendo una calcinación acelerada en los huesos del cuerpo humano, afectando asimismo la visión, sistemas respiratorio y circulatorio, llegando a lesionar, en dosis altas y continuas, al sistema nervioso central. Es evidente que las áreas donde se genera mayor cantidad de O_3 , serán aquellas con mayor dispersión de contaminantes gaseosos primarios (óxidos de nitrógeno) y más intensa y persistente radiación solar.

II.4.5. Hidrocarburos

Los hidrocarburos son sustancias formadas por átomos de carbono e hidrógeno; se emiten principalmente como consecuencia de una combustión incompleta de combustibles fósiles o por evaporación de los mismos.

Los hidrocarburos son peligrosos porque pueden reaccionar con los oxidantes fotoquímicos y producir otros contaminantes extremadamente tóxicos, como el nitrato de peroxiacilo (PAN). Esta última sustancia es bastante perjudicial para los vegetales.

II.4.6. Partículas

Las partículas son un grupo amplio de contaminantes que pueden ser sólidas o líquidas. Niebla, neblinas, polvillo y humo están todos formados de pequeñas partículas. Entre las principales fuentes de contaminación por partículas, se encuentran las industrias de acero y cemento, las fábricas que usan el combustóleo como fuente de energía, los escapes de automóviles.

En relación a su medición, las partículas materiales se miden en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

III. METEOROLOGIA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

El grado de contaminación atmosférica de una determinada zona, depende principalmente de los siguientes factores:

1. De la cantidad de fuentes contaminantes localizadas en esa zona, tales como chimeneas, tubos de escape, etc.
2. De ciertos parámetros meteorológicos que intervienen en la dispersión de los contaminantes en la baja atmósfera (velocidad del viento, turbulencia atmosférica, etc.).

Desde el punto de vista del control de la contaminación atmosférica, la información meteorológica puede ser útil para la ubicación estratégica de chimeneas e industrias en una zona.

También la información meteorológica, es indispensable para la predicción de la contaminación atmosférica con modelos de difusión de gases contaminantes.

III.1. PRINCIPALES PARAMETROS METEOROLOGICOS QUE INTERVIENEN EN LA DISPERSION DE CONTAMINANTES

Los principales parámetros meteorológicos que inter-

vienen en la dispersión de contaminantes gaseosos, son: dirección del viento, velocidad del viento, turbulencia atmosférica y gradiente vertical de temperatura. A continuación, dará una breve descripción de cada uno de ellos.

III.1.1. Dirección del Viento

La dirección del viento, se define como: "la dirección o punto cardinal de donde sopla el viento". Así, cuando el viento vá del noroeste, NO (315°) al sureste, SE (115°); la dirección del viento será NO (315°). La figura 3.1 ilustra los puntos cardinales que se usan para denominar la dirección de los vientos.

Debido a que la dirección del viento varía aun en breves períodos de tiempo, se ha introducido un nuevo concepto, viento dominante.

El concepto viento dominante se define como, la dirección del viento que prevalece durante un cierto período de tiempo, este puede ser un día, un mes o un año.

En estudios sobre contaminación atmosférica, la información requerida de este parámetro deberá ser de todo el año.

Quando se pretenda instalar una nueva industria en

una determinada zona, este último concepto debe tomarse en cuenta, a fin de evitar que las emisiones contaminantes causen algún daño grave.

III.1.2. Velocidad del Viento

Aunque el término viento, suele ser común, es necesario darle una breve definición meteorológica.

El viento se define como corriente de aire que se desplaza horizontalmente de un punto a otro.

A la rapidez con que esta corriente de viento se desplaza, se le denomina velocidad del viento. Y ésta, puede expresarse en km/hr, m.p.h., ó en m/seg.

El viento desempeña varias funciones en la atmósfera, la más importante es que sirve de medio de transporte para una serie de materiales, tales como calor, humedad, nubes, contaminantes, etc.; además, actúa como redistribuidor de la concentración de tales cantidades.

En relación a los vientos de altas velocidades, éstos, pueden ser peligrosos para el hombre y su medio ambiente, ya que podrían transportar los contaminantes de los centros contaminados hasta regiones bastante alejadas.

Por otro lado, la velocidad del viento determina la forma de la pluma, al salir los gases de la chimenea. La figura 3.2 ilustra las diferentes formas de pluma, en función de la velocidad del viento y de la estabilidad atmosférica.

En la aplicación del modelo de Gifford y Pasquill para predecir la contaminación atmosférica, se requiere el conocimiento de la velocidad del viento a la altura de la fuente.

En las proximidades del suelo, la velocidad del viento aumenta con la altura; una relación que describe este comportamiento, y que puede ser usada en forma práctica para estimar la velocidad del viento a la altura de la fuente, es:

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{h}{Z_0} \right)^m \quad \text{--- (3.1)}$$

dónde:

U: es la velocidad del viento a la altura física de la chimenea.

U_0 : es la velocidad del viento de referencia (datos meteorológico)

h: es la altura física de la chimenea.

Z_0 : es la altura de medición de U_0 (frecuentemente esta altura es de 10 m.)

m : es una cantidad que ha sido estimada experimentalmente en función de la estabilidad atmosférica, (ver la tabla 3.1)

TABLA 3.1
VALORES EXPERIMENTALES DE " m "

Clase de estabilidad	" m "
A. Extremadamente inestable	0.10
B. Moderadamente inestable	0.15
C. Ligeramente inestable	0.20
DD. Neutra de Día*	0.25
DN. Neutra de Noche*	0.25
E. Ligeramente estable	0.30
F. Moderada estabilidad	0.30

* Aplicados en días nublados y noches oscuras.

III.1.3. Turbulencia Atmosférica

Es difícil dar una definición completamente satisfactoria de este parámetro. Sin embargo, definiré a turbulencia atmosférica como movimiento irregular e intenso del viento. Este movimiento irregular e intenso del viento es la causa principal de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

La turbulencia atmosférica consiste en remolinos horizontales y verticales que pueden mezclar el aire contaminado con el aire limpio que lo rodea. Así, mientras más fuertes sean éstos remolinos más rápidamente se dispersarán los contaminantes, y por consiguiente, habrá menos problemas de contaminación atmosférica.

De acuerdo a las causas que originan la turbulencia atmosférica, ésta se ha clasificado en turbulencia mecánica y turbulencia térmica.

La turbulencia mecánica, depende de la velocidad del viento y de la rugosidad del terreno. Este tipo de turbulencia puede producir difusión tanto vertical como horizontal.

La turbulencia térmica, depende, principalmente del gradiente de temperatura en la atmósfera; este tipo de turbulencia es la causa principal del mezclado vertical de los contaminantes.

Paquill y Gifford denominaron a la turbulencia térmica como estabilidad atmosférica; en el modelo que ellos propusieron han clasificado a la turbulencia térmica, en las siguientes seis categorías o clases.

CLASE	DESCRIPCION
A	Muy inestable
B	Inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutra
E	Estable
F	Muy estable (inversión térmica)

III.1.4. Gradiente Vertical de la Temperatura en la Atmósfera

La temperatura de la atmósfera depende de la cantidad de energía radiante recibida del sol, así como de los diversos mecanismos de transporte de energía (convección, radiación electromagnética, evaporación, etc.) que interaccionan entre la atmósfera y la superficie terrestre incluyendo los océanos. Como consecuencia de esto, la temperatura no es constante, sino que varía con la altura, latitud, estación del año, hora del día, cantidad de nubes, etc.

En estudios sobre contaminación atmosférica, la propiedad que nos interesa es la variación de la temperatura con la altura, especialmente, porque este parámetro es el que más influye sobre la dispersión de los contaminantes. Cabe hacer notar, que los episodios ocurridos a causa de la contaminación atmosférica, se han debido entre otros factores, al com-

portamiento vertical de la temperatura. De ahí, la importancia de este parámetro.

Cuando la baja atmósfera se encuentra bien mezclada, y considerando al aire como gas ideal; la temperatura del aire seco disminuye con la altura a razón de 1°C por cada 100 m de elevación. Esta relación se llama, tasa adiabática de temperatura (Γ); este comportamiento se indica en la figura 3.3.

Pero debido a que el buen mezclado en la baja atmósfera no ocurre frecuentemente, el aire puede tener un comportamiento vertical de la temperatura, diferente, al del caso anterior. De esto, se infiere que existe otra tasa de cambio de temperatura, la que comúnmente se llama, tasa real de cambio de temperatura (γ). Ésta depende de la humedad y condiciones particulares de la región.

Dos conceptos relacionados con la distribución vertical de la temperatura y que son ampliamente usados para denotar el grado de dispersión vertical de los contaminantes, son: estabilidad atmosférica e inversión térmica.

III.1.4.a) Estabilidad Atmosférica

Para definir este parámetro, utilizaré el concepto

de fuerzas de flotación y la ley de los gases ideales.

De las leyes de la física, para que un cuerpo se mueva de un punto a otro, es necesaria la acción de una fuerza. Así pues, cuando una porción de aire de volumen V , y propiedades P_p y T_p tiende elevarse a través de una capa de aire de propiedades P_a y T_a , actúa una fuerza que origina tal movimiento. A esta fuerza se le llama, fuerza de flotación, y ésta es igual a la diferencia entre el peso de la porción de aire W_p y el peso de la atmósfera desplazada W_a . Esto puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$F = W_a - W_p = g V (\rho_a - \rho_p) \quad (3.2)$$

donde:

F : es la fuerza que mantiene en flotación a la porción de aire

W_a y W_p : son los pesos de la atmósfera desplazada y de la porción de aire respectivamente.

g : es la aceleración de la gravedad.

V : es el volumen de la porción de aire.

ρ_a y ρ_p : son las densidades de la atmósfera desplazada y de la porción de aire respectivamente.

P_a y P_p : son las presiones de la atmósfera desplazada y de la porción de aire respectivamente.

T_a y T_p : son las temperaturas de la atmósfera desplazada y de la porción de aire respectivamente.

Dividiendo la ecuación (3.2) entre la masa se obtiene la aceleración de la porción de aire:

$$a = g \frac{\rho_a - \rho_p}{\rho_p} \quad \text{-----} \quad (3.3)$$

Puesto que $P_a = P_p$, de la ecuación de los gases ideales, las densidades de la atmósfera desplazada y de la porción de aire son:

$$\rho_a = \frac{P_a M}{R T_a}$$

$$\rho_p = \frac{P_p M}{R T_p}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (3.3), esta misma ecuación se transforma en:

$$a = g \frac{T_p - T_a}{T_a} = \frac{dv}{dt} \quad \text{-----} \quad (3.4)$$

donde:

T_a y T_p : son las temperaturas de la atmósfera desplazada y de la porción de aire, en °K

v: es la velocidad vertical de ascensión adquirida por la porción de aire.

Sustituyendo las consideraciones expuestas anteriormente de ρ y γ , en la ecuación (3.4); y considerando un cambio de altura, Δz , para la porción de aire, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{d.v}{dt} = g \frac{(\gamma - \rho) \Delta z}{T_a} \quad \text{--- --- --- --- --- (3.5)}$$

Esta última ecuación, es la que indica el grado de estabilidad atmosférica o el grado de turbulencia que puede presentarse en una determinada zona. De acuerdo a esta ecuación, pueden presentarse tres clases de estabilidad atmosférica: neutra, inestable y estable.

1er. caso. Estabilidad neutra. En estas condiciones de la atmósfera, la pluma de contaminantes expelida por la chimenea tendrá dificultades para elevarse y mezclarse con aire limpio.

$$\gamma = \rho \quad (T_p = T_a)$$

2do. caso. **Atmósfera inestable.** En estas condiciones atmosféricas, la pluma de contaminantes expelida por una chimenea fácilmente se elevará y se mezclará con aire limpio.

$$\gamma > \rho \quad (T_p > T_a)$$

3er. caso. **Atmósfera estable.** En estas condiciones no hay movimiento vertical de masas de aire, debido a que la temperatura del aire aumenta con la altura.

$$\gamma < \rho \quad (T_p < T_a)$$

III. 1.4.b) Inversión Térmica

El fenómeno de inversión térmica, se define como el aumento de la temperatura con la altura (3er. caso). Este fenómeno impide que los contaminantes tiendan elevarse y diluirse en las capas superiores de la atmósfera, agravando de esta manera, la contaminación atmosférica. La figura 3.3 indica este comportamiento.

III.2. INFORMACION METEOROLOGICA DE LA ZONA DONDE SE ENCUENTRA UBICADO EL C.P.Q. POZA RICA, VER.

La información meteorológica que en este apartado

presentaré, no sólo servirá para predecir la contaminación atmosférica en la región que he escogido para este estudio; sino que también servirá para determinar los lugares o puntos más peligrosos debido a la contaminación del aire. Esta información también puede servir, para determinar los meses más difíciles para la dispersión de las emisiones contaminantes.

Los datos que a continuación se reportan, fueron tomados por el personal y con el equipo existente del Centro Meteorológico de la S.A.R.H., de la ciudad de Tuxpan, Ver. Corresponden al año de 1984.

TABLA 3.2
COMPORTAMIENTO DE LOS VIENTOS DURANTE 1984

Mes	Dirección del viento dominante	Velocidad promedio del viento (m/seg.)	*Velocidad del viento mas alta (m/seg.)	Dirección del viento de la (*)
Enero	N	2.0	11.0	N
Febrero	N	3.0	10.0	N
Marzo	NO	1.0	13.0	N
Abril	N	7.0	13.0	N
Mayo	NE	1.0	18.0	N
Junio	E	2.0	9.0	SO
Julio	NE	1.0	9.0	NNO
Agosto	NE	1.0	10.0	ESE
Septiembre	N	3.0	11.0	SO
Octubre	N	3.0	11.0	ONO
Noviembre	ESE	2.0	8.0	NNE
Diciembre	ONO	2.0	13.0	N

TABLA 3.3
CLIMATOLOGIA DE LA ZONA DONDE SE ENCUENTRA UBIDADO EL C.P.Q.
POZA RICA, VER., DURANTE EL AÑO DE 1984

Climatología	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Temp. Media (°C)	17.2	19.6	22.7	26.6	27.8	26.3	26.6	27.0	25.4	26.8	22	23
Temp. Max. (°C)	29.3	31.8	37.8	41.5	41.5	34.0	33.5	34.0	33.8	35.5	32	30.5
Temp. Min. (°C)	7.5	10.5	11.8	15.6	15.9	17.9	22.2	21.0	17.0	16.8	11.0	11.6
Presión Media (mbar)	1020	1017	1014	1010	1012	1017	1015	1014	1013	1014	1018	1017
Humedad Relativa (%)	93	92	90	87	90	91	92	92	94	90	89	91
Lluvia Total (mm)	49.3	31.9	8.1	0.4	172.2	158	293.8	314.6	675.5	35.3	44.1	94
No. de días con lluvia	25	10	8	5	12	15	18	21	25	12	6	14

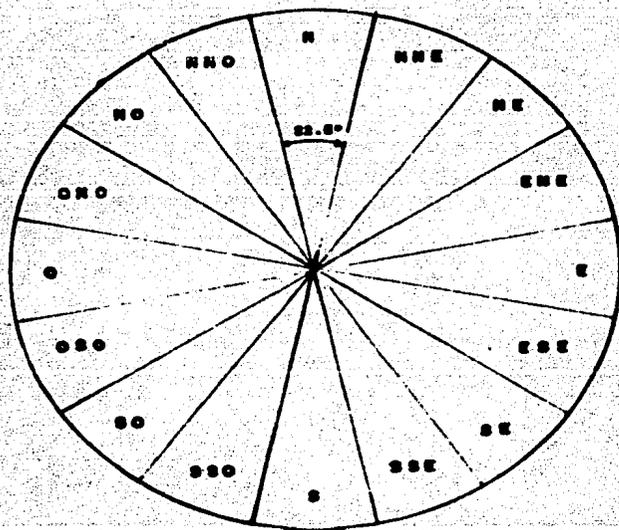


Figura 3.1. Puntos cardinales para denotar la dirección del viento.

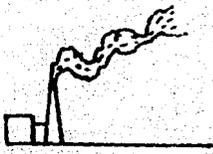
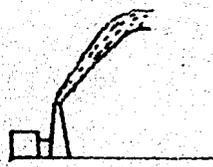
Tipo de Pluma	Apariencia	Estabilidad atmosférica	Velocidad del viento (m/seg.)
Ondulada		A B C	< 2 2 - 5
Vertical		E	2 - 5
Fumigación		E F	2 - 5 2 - 5
Cónica		D E	5 - 8 2 - 5

Figura 3.2 Formas de pluma en función de estabilidad atmosférica y de la velocidad del viento.

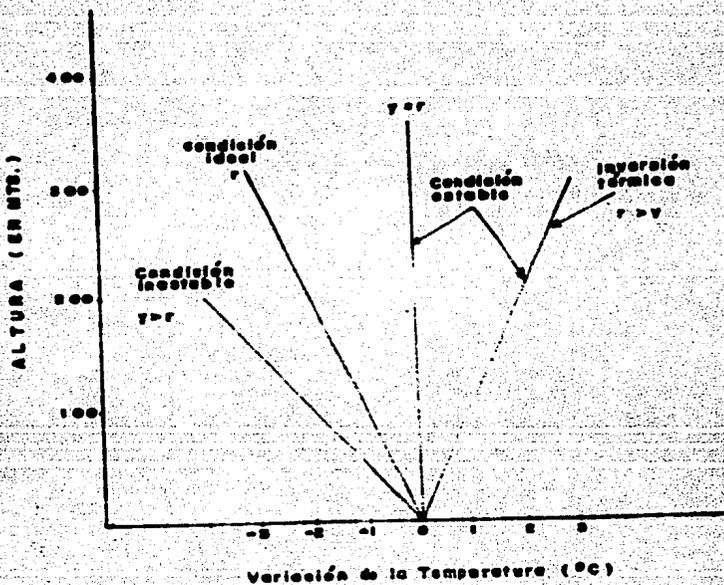


Figura 2.3 Representación gráfica del fenómeno de inversión térmica

IV. MODELO DE GIFFORD Y PASQUILL

IV. 1. DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo de Gifford y Pasquill o modelo de dispersión gaussiana, se usa para predecir la concentración de contaminantes gaseosos en la vecindad de fuentes puntuales que emiten un flujo continuo de contaminantes; y es más adecuada su aplicación, en terrenos llanos o lisos.

El modelo predice la concentración de contaminantes desde la fuente (chimenea), hasta una distancia de aproximadamente de 100 km en la dirección del viaje de la pluma; pero es más exacto, para distancias comprendidas entre 100 y 2000 m desde la fuente.

La exactitud de las concentraciones estimadas con este modelo, dependerá de la calidad de información (meteorológica, y técnica respecto a la fuente) usada al aplicar el modelo.

El modelo de Gifford y Pasquill, predice la concentración de contaminantes gaseosos en la dirección del viento, desde una fuente puntual de contaminación del aire; en base a las siguientes suposiciones:

1. La dirección y velocidad del viento en la vecindad de la fuente puntual, son constantes.

2. Cuando los efluentes entran a la atmósfera, la pluma se eleva hasta alcanzar una altura de equilibrio (H); la altura total de equilibrio o eje central de la pluma es la suma de la altura física de la chimenea y la altura de la pluma; y ésta, permanece constante a cualquier distancia desde la fuente, después de haber alcanzado el equilibrio.

3. A cualquier distancia en dirección del viaje de la pluma, la máxima concentración ocurre en el eje central de la pluma. La distribución de los valores de la concentración fuera del eje central de la pluma, es dada, por el producto de dos términos gaussianos.

4. El perfil de concentraciones descrito por el modelo, no es un perfil de pluma instantánea; sino que representa concentraciones promedio durante un determinado tiempo, normalmente 10 min. o 1 hr.

5. Ninguno de los efluentes de la pluma se pierde, porque se supone que éstos, se reflejan cuando la pluma hace contacto con la superficie terrestre.

6. El flujo emitido de efluentes es constante; y

los parámetros meteorológicos que determinan la forma de la pluma son constantes.

El sistema de coordenadas en el que se basa el modelo, se indica en la figura 4.1. El origen de coordenadas del sistema, es a nivel piso, en la base de la fuente. La altura del eje central de la pluma, (H) , es igual a la suma de la altura física de la fuente (h) y la elevación de la pluma (ΔH) .

El modelo de Giofford y Pasquill supone que la pluma se eleva, hasta alcanzar una altura de equilibrio (H) , por encima del punto de salida; por lo tanto, el modelo predice la dispersión de los contaminantes, desde el punto $(0,0,H)$.

La ecuación general del modelo, puede escribirse como el producto de tres términos, que representan:

- (1) La concentración del eje central de la pluma como una función de la distancia en dirección del viento.
- (2) La variación horizontal de la concentración con respecto al valor del eje central de la pluma.
- (3) La variación vertical de la concentración con

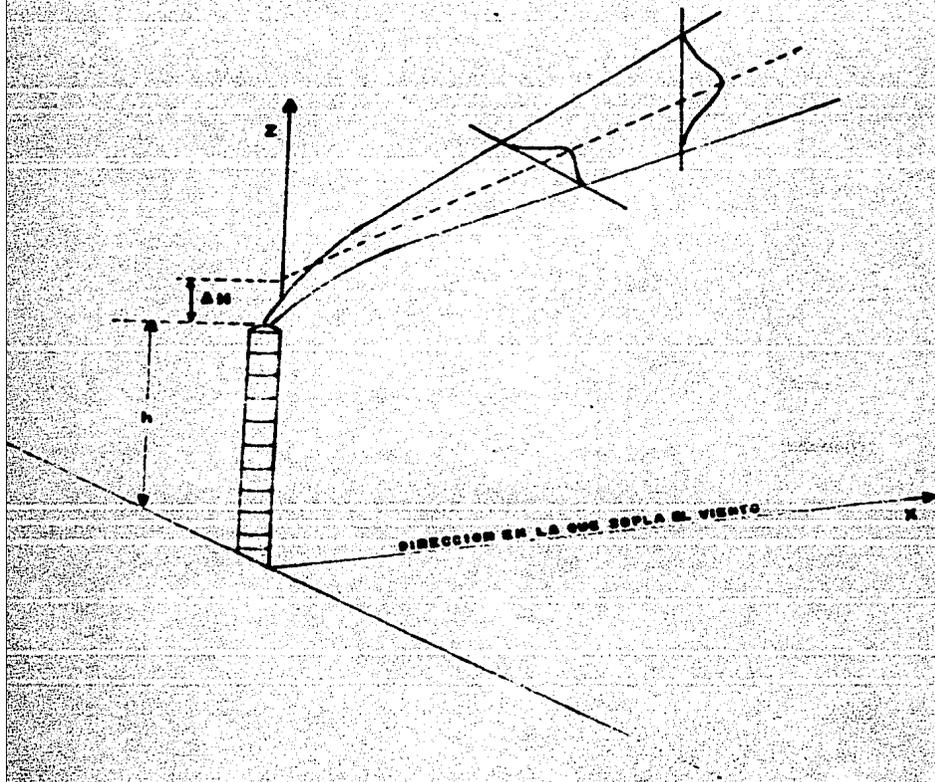


Figura 4.1 Sistema de Coordenadas del Modelo de GIFFORD y PASQUILL

respecto al valor del eje central de la pluma.

La ecuación general del modelo es:

$$X(x,y,z;H) = \frac{Q X 10^6}{2 \pi \sigma_y \sigma_z U} \cdot e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]} \cdot \left[e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right]} + e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right]} \right] \quad (4.1)$$

(1) (2) (3)

donde:

$X(x,y,z;H)$: es la concentración a cualquier posición en dirección del viento (x,y,z) , para una determinada altura efectiva, H ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q : es el flujo másico del contaminante ($\text{g}/\text{seg.}$)

H : es la altura efectiva de la fuente (m)

σ_y, σ_z : son los coeficientes de dispersión horizontal y vertical de la pluma. Estos son funciones de la distancia en dirección del viento y de la clase de estabilidad atmosférica (m).

U : es la velocidad promedio del viento, responsable del transporte de la pluma ($\text{m}/\text{seg.}$)

10^6 : es el factor para convertir gramos (g) a microgramos (μg).

Las variables involucradas en la ecuación (4.1), que es necesario describir como se estiman, son: coeficientes de dispersión (σ_y y σ_z), altura efectiva de la fuente (H), elevación o altura de la pluma (ΔH).

IV. 1.1 Coeficientes de dispersión (σ_y y σ_z).

Los coeficientes de dispersión de la pluma (σ_y y σ_z), pueden ser determinados fácilmente de los nomogramas de las figuras 4.2 y 4.3. Estos nomogramas, relacionan a los coeficientes en función de la distancia en dirección del viaje de la pluma y de la clase de estabilidad atmosférica.

Las clases de estabilidad atmosférica implicadas en los nomogramas de las figuras 4.2 y 4.3, son las seis clases que Pasquill y Gifford definieron. La tabla 4.1 resume a estas seis clases de estabilidad.

TABLA 3.1

CLASES DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA DE PASQUILL

Velocidad del viento (a 10 m) m/seg.	Día			Noche ^a	
	Intensidad de radiación solar			Índice de obscuridad	
	Fuerte	Moderada	ligera	$\geq 4/8$ de nublado ^b	$\leq 4/8$ de nublado
< 2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Donde:

Clase	Descripción
A	Muy inestable
B	Inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutra
E	Estable
F	Muy estable

^a: Se considera desde 1 hr antes que se oculte el sol en el horizonte, hasta 1 hr después que el sol ha salido en el horizonte.

^b: Fracción del cielo arriba del horizonte, cubierto de nubes.

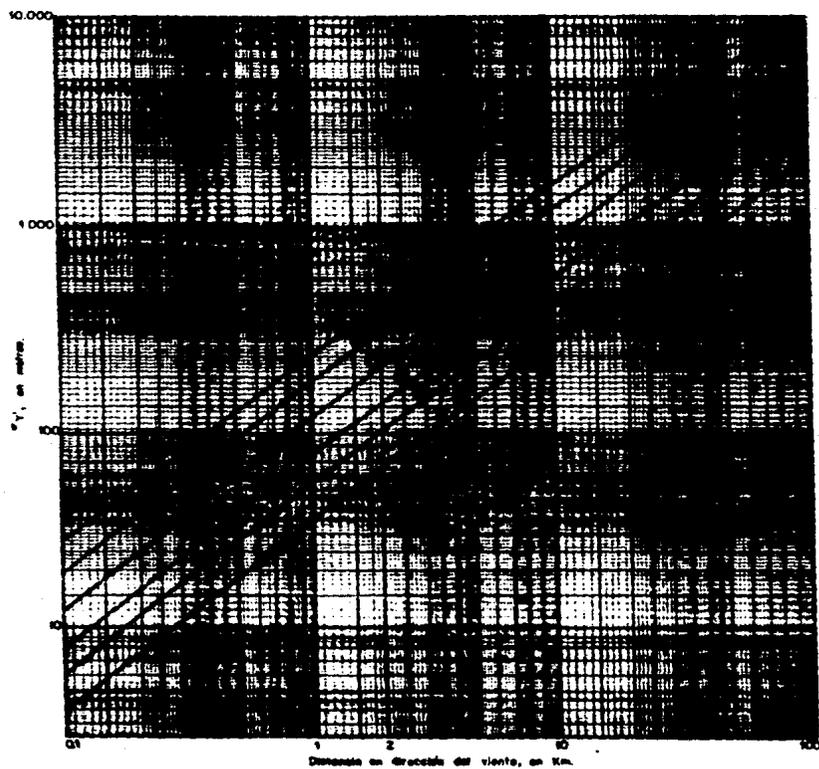


Figura 4.2. Coeficiente de dispersión horizontal en función de la distancia en la dirección del viento, desde la fuente.

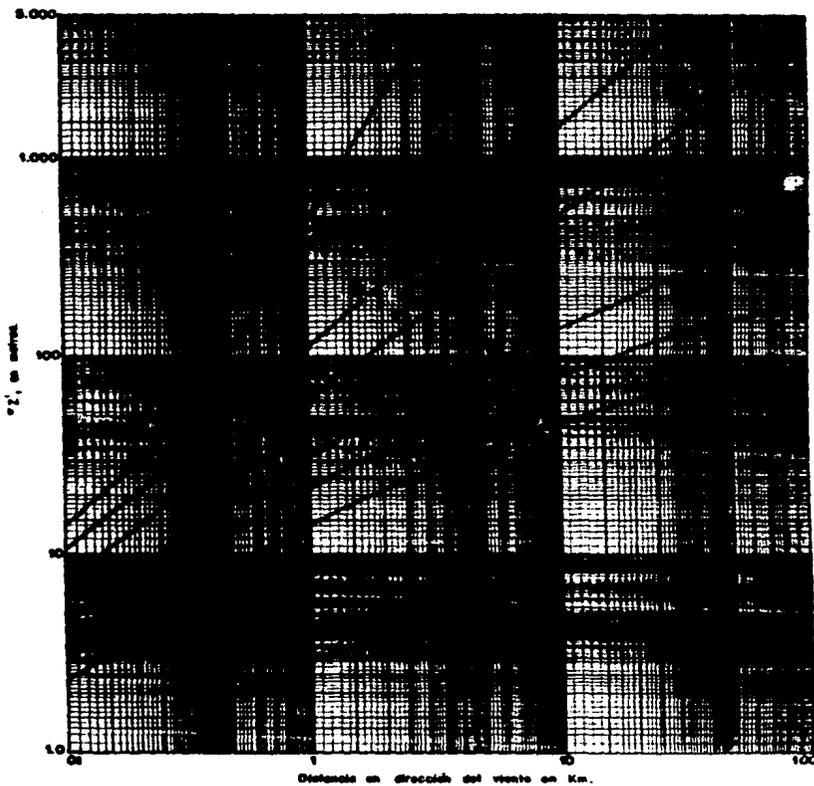


Figura 4.3 Coeficiente de dispersión vertical en función de la distancia en dirección del viento, desde la fuente.

IV. 1.2 Altura efectiva de la fuente (H)

La altura efectiva de la fuente o altura del eje central de la pluma (H), es igual a la suma de la altura física de la fuente (h) y la elevación de la pluma (ΔH); ver la figura 4.4.

Lo anterior puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$H = h + \Delta H \text{ ----- (4.2)}$$

Para una determinada fuente contaminante, la altura física de la fuente, es constante; por lo tanto, la altura efectiva de la fuente será una función de la elevación de la pluma (ΔH)

IV. 1.3 Elevación de la pluma (ΔH)

La elevación de la pluma (ΔH), se define como la diferencia entre la altura del eje central de la pluma (H) y la altura física de la fuente (h); ver la figura 4.4

Como regla general, la elevación de la pluma (ΔH) aumenta, cuando:

1. El contenido calorífico de los efluentes aumenta.
2. La velocidad de expulsión de los efluentes aumenta.
3. La velocidad local del viento disminuye.
4. La atmósfera local es inestable
5. El nivel de turbulencia local disminuye.

Existen en la literatura muchas fórmulas empíricas para estimar la elevación de la pluma, pero la más usual debido a su simplicidad para el cálculo, es la Holland (1953). La expresión es la siguiente:

$$\Delta H = -\frac{v_s d}{u} (1.5 + 2.68 \times 10^{-3} p \frac{T_s - T_a}{T_s} d) \quad \text{--- (4.3)}$$

donde:

H : es la elevación de la pluma (m)

V_s : es la velocidad de expulsión de los efluentes (m/seg.)

d : es el diámetro interno de la fuente (m)

u : es la velocidad local del viento (m/seg.)

p : es la presión atmosférica local (mbar)

T_s : es la temperatura de salida de los efluentes (°K)

T_a : es la temperatura atmosférica local (°K)

2.68 X 10⁻³ : es una constante que tiene como unidades
(mbar⁻¹m⁻¹)

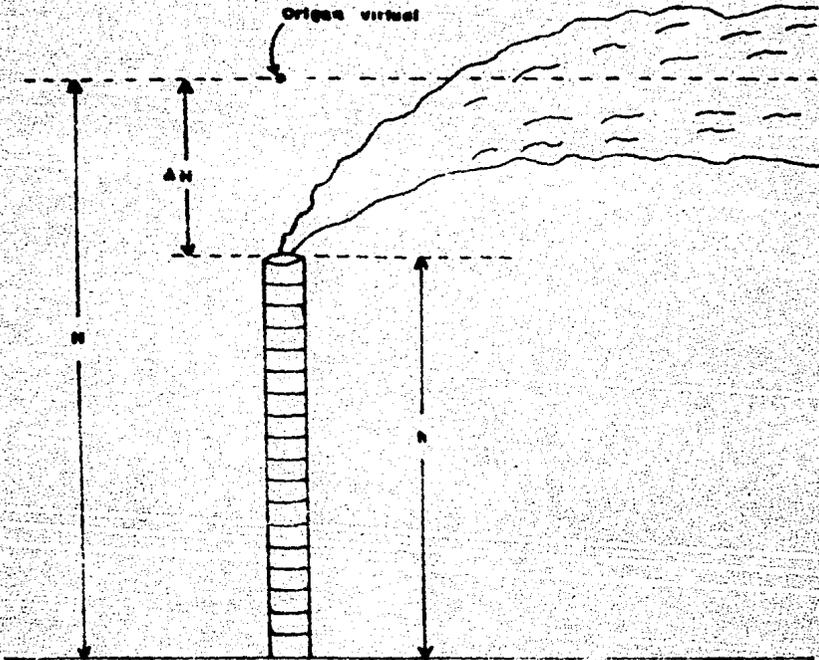


Figura 4.4 Altura efectiva de la emision $H = h + \Delta h$

IV. 2. Ecuaciones específicas del modelo de Gifford y Pasquill.

La ecuación general del modelo (4.1), puede simplificarse de acuerdo a ciertos casos especiales de aplicación; los casos más importantes y sus respectivas ecuaciones son:

IV. 2.1 Concentración a nivel piso fuera del eje central de la pluma.

a) Perfil de concentraciones para emisiones que ocurren a una altura efectiva, H.

$$X(x,y,0;H) = \frac{Q X 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2} \quad \text{----- (4.4)}$$

b) Perfil de concentraciones, para emisores que ocurren a nivel piso (H = 0)

$$X(x,y,0;0) = \frac{Q X 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z U} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2} \quad \text{----- (4.5)}$$

IV. 2.2 Concentración a nivel piso en el eje central de la pluma.

a) Perfil de concentraciones, para emisiones que ocurren a una altura efectiva, H.

$$X(x,0,0;H) = \frac{Q X 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2} \quad \text{----- (4.6)}$$

b) Perfil de concentraciones para emisiones que ocurren a nivel piso ($H = 0$)

$$X(x, 0, 0; 0) = \frac{q - X \cdot 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \quad \text{--- (4.7)}$$

V. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN DE
 SO_2 Y H_2S del C.P.Q. POZA RICA, VER.

Las principales fuentes que emiten dióxido de azufre (SO_2) y ácido sulfhídrico (H_2S) en el Complejo Petroquímico Poza Rica, Ver, son: La chimenea de la Planta de Azufre y el quemador elevado.

A estas fuentes contaminantes aplicará el modelo descrito en el capítulo anterior, para determinar el impacto que por contaminación atmosférica producen en sus áreas circunvecinas. Para lograr esto, es necesario conocer la información involucrada en el modelo respecto a tales fuentes.

La información involucrada en el modelo respecto a estas fuentes es:

- a) Q: Flujo másico del contaminante emitido (g/seg.)
- b) h: Altura física de la fuente (m)
- c) d: Diámetro de la fuente (m)
- d) V_s : Velocidad de expulsión de los gases (m/seg.)
- e) T_s : Temperatura de los gases emitidos ($^{\circ}\text{K}$)

En relación a estas características de las fuentes, se ha puesto cuidadosa atención al recabar tal información

a fin de obtener resultados apreciables al aplicar el modelo.

V.1. CHIMENEA DE LA PLANTA DE AZUFRE

La chimenea de la Planta de Azufre ha sido denominada así, por ser parte integrante del equipo de la Planta de Azufre. Fue diseñada para Petroleos Mexicanos por la Firma Arthur G. Mckee de Cleveland, U.S.A., en 1950. Consta de una altura de 23m. y un diámetro de 1.78m.

El propósito de esta chimenea es expulsar a la atmósfera, en forma segura, los gases inertes del proceso de la Planta de Azufre, ver la figura 5.1.

En relación al flujo de dióxido de azufre emitido por la chimenea, éste depende directamente de la eficiencia de la planta de Azufre. Así pues, a mayor eficiencia de la Planta de Azufre, el flujo emitido de dióxido será mínimo; y a menor eficiencia de la Planta, el flujo de dióxido de azufre será mayor.

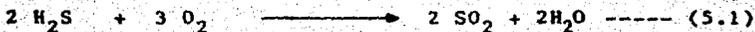
El flujo de dióxido de azufre Q , sería fácil de estimarlo si se conociera la concentración de todos los componentes en la corriente de gases que emite la chimenea, pero de no contar con este dato, el flujo de dióxido de azufre, Q , lo

estimaré haciendo un balance de materia respecto al ácido sulfhídrico (H_2S) alimentado a la Planta de Azufre.

Para hacer más entendible el propósito de la chimenea y para poder realizar el balance de materia, es necesario dar un resumen del proceso de la Planta de Azufre.

La Planta de Azufre tiene por objeto producir azufre sólido, mediante el proceso Claus, usando como materia prima ácido sulfhídrico procedente de la Planta Girbotol, ver la figura 5.1.

Las reacciones durante el proceso son las siguientes:



Durante el proceso, la eficiencia de la conversión del ácido sulfhídrico a azufre es del 75 por ciento; esto implica que el 25 por ciento de la carga del sulfhídrico alimentado, no logra la conversión y se elimina de la zona de reacción junto con los gases inertes. La corriente de gases in-

te con residuos de ácido sulfhídrico no se elimina como tal a la atmósfera, sino que recibe un tratamiento previo, en donde el sulfhídrico (H_2S) se oxida a SO_2 , este último es el que emite la chimenea de la Planta de Azufre, ver la figura 5.2.

V.1.1. Balance de Material para Estimar el Flujo de SO_2 Emitido por la Chimenea.

a) Datos respecto a la carga de gas ácido alimentado a la Planta de Azufre.

Flujo: $7644 \text{ m}^3/\text{hr}$ (es el promedio mensual)

Fluido: Gas ácido cuya composición es 30.65 por ciento en mol de ácido sulfhídrico, ver la tabla 5.1.

Presión: 0.318 kg/cm^2 (Presión tot. = 1.307 Atm.)

Temperatura: 70°C (343°K)

Peso Molecular Promedio: 38.9 Kg/kg mol

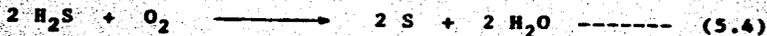
Densidad: 1.807 kg/m^3

Flujo Másico: 13813 kg/hr

b) Datos respecto al proceso de la Planta de Azufre.

Eficiencia de la Planta: 75 por ciento

Reacción total de conversión del sulfhídrico a azufre



Reacción de oxidación del sulfhídrico, en el CS -
H7, ver la figura 5.1.



c) Base de cálculo: 13813 Kg/hr de gas ácido alimentado a la
Planta de Azufre.

d) Cálculos:

$$\begin{array}{l} \text{Kgmol/hr de gas ácido} \\ \text{alimentado a la Planta} \end{array} = \frac{13813}{38.9} = 355.1$$

$$\begin{array}{l} \text{Kgmol/hr de ácido} \\ \text{Sulfhídrico alimentados} \\ \text{a la planta} \end{array} = 0.3065 (355.1) = 108.8$$

$$\begin{array}{l} \text{Kg/hr de H}_2\text{S alimentados a la} \\ \text{Planta de Azufre} \end{array} = 34 (108.8) = 3700$$

$$\begin{array}{l} \text{Kg/hr de H}_2\text{S que} \\ \text{reaccionan} \end{array} = 0.75 (3700) = 2775$$

Con el dato anterior, y de la estequiometría de la
ecuación (5.4) podemos calcular la producción diaria de azufre.

Así,

Kg/hr de azufre producido = 2775 (64/68) = 2612.

Toneladas/día azufre = 2612 (24)/100 = 62.7 (Promedio Mensual).

Kg/hr de H_2S que no
se convierten a azufre = 0.25 (3700) = 925

Con este último dato, y de la estequiometría de la reacción (5.1) podemos determinar el flujo de SO_2 emitido por la chimenea. Debera notarse que el flujo de SO_2 que emite la chimenea, proviene del sulfhídrico inerte durante el proceso de la Planta de Azufre.

g/seg de SO_2 que
emite la chimenea = 925(1000/3600) (128/68) = 484

V.1.2. Resumen de las Características de la Chimenea

Dimensiones de la chimenea:

Altura: 23 m.

Diámetro: 1.78 m.

Datos respecto al flujo de gases emitidos:

Q: Flujo de SO_2 emitido = 484 g/seg.

Ts: Temperatura de salida de los gases = 350°C (623°K)

Vs: Velocidad de expulsión de los gases 1.2 m/seg.

La velocidad de expulsión de los gases fue estimada los siguientes datos proporcionados por el Laboratorio C.P.Q. Poza Rica, Ver., (Aire inerte = 5277 m³/hr, Carga nertes = 5301 m³/hr; Flujo total de inertes = 10578 m³/hr).

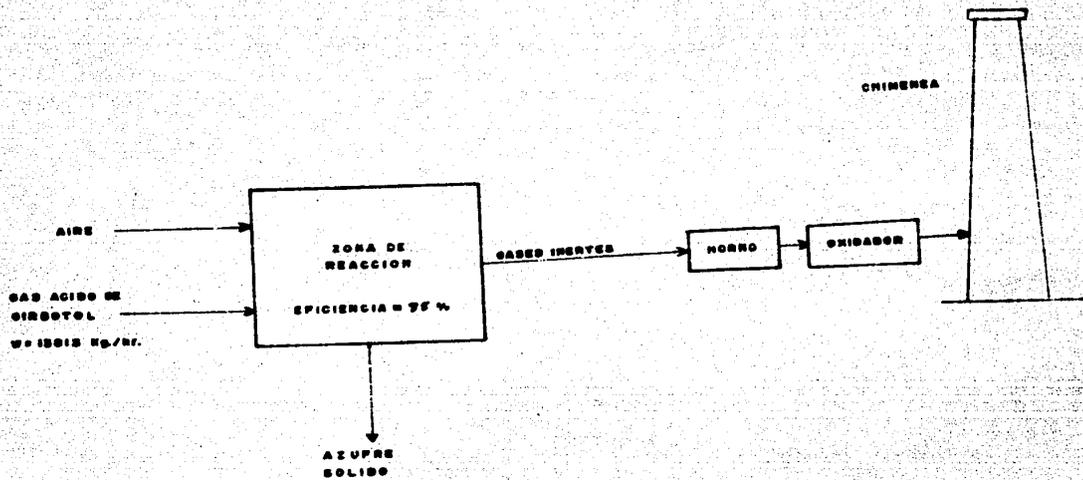


Figura 5.2 Tratamiento e Gases inertes de Planta de Azufre

TABLA 5.1
COMPOSICION DEL GAS ACIDO ALIMENTADO A LA PLANTA
DE AZUFRE

Componente	Fórmula	PM	Por ciento en mol.
Acido Sulfhídico	H_2S	34	30.65
Bióxido de Carbono	CO_2	44	61.76
Agua	H_2O	18	4.62
Metano y otros			2.97
Hidrocarburos			

V.2. QUEMADOR ELEVADO DEL C.P.Q. POZA RICA, VER.,

Antes de describir el quemador elevado del Complejo Petroquímico Poza Rica, Ver., voy a dar una breve información acerca del tipo de quemadores elevados.

Los quemadores elevados son equipos seguros para eliminar por combustión, grandes cantidades de gas. Son elevados con el fin de reducir la radiación térmica, el ruido, y la contaminación del aire a nivel piso.

Entre las principales ventajas de este tipo de quemadores, se destacan las siguientes:

1. Requieren de poco espacio superficial para su instalación, pero debido a la radiación térmica y a las chispas que podrían desprenderse de la flama, es necesario, estimar una área de seguridad.

2. Tienen gran flexibilidad de operación, respecto a la cantidad de gas que podrían quemar.

3. Reducen la contaminación a nivel piso.

El quemador elevado del C.P.Q. Poza Rica, fue construido en 1974, como una integración de la Planta Girbotol;

para eliminar, mediante la combustión, el desfogue ácido de esta Planta. Es necesario aclarar que, el desfogue ácido se hace, sólo cuando entra en reparación la Planta de Azufre o mejor dicho, cuando se Para a esta Planta, Ver las figuras 5.3 y 5.4.

El diseño del quemador es de la Firma John Zink Company, de Pensilvania, U.S.A. La altura del quemador es de 61 m. y tiene un diámetro de 0.61 m. Una característica de este quemador es que mantiene en forma permanente la flama, la que sirve para producir la ignición del desfogue ácido. La flama del quemador se mantiene viva, mediante el suministro de gas combustible rico en metano.

Así pues, el quemador elevado emitirá SO_2 sólo cuando entre en reparación la Planta de Azufre. El tiempo que dure emitiendo SO_2 el quemador, dependerá del tiempo que dure parada la Planta de azufre.

En relación al H_2S que podría emitir el quemador elevado, éste se emitiría sólo en caso de que el quemador se apagase en el momento de la combustión del desfogue ácido.

El flujo de dióxido de azufre que emite el quemador elevado al quemar el desfogue ácido, y el flujo de H_2S que podría ser emitido en caso de que el quemador se apagase en

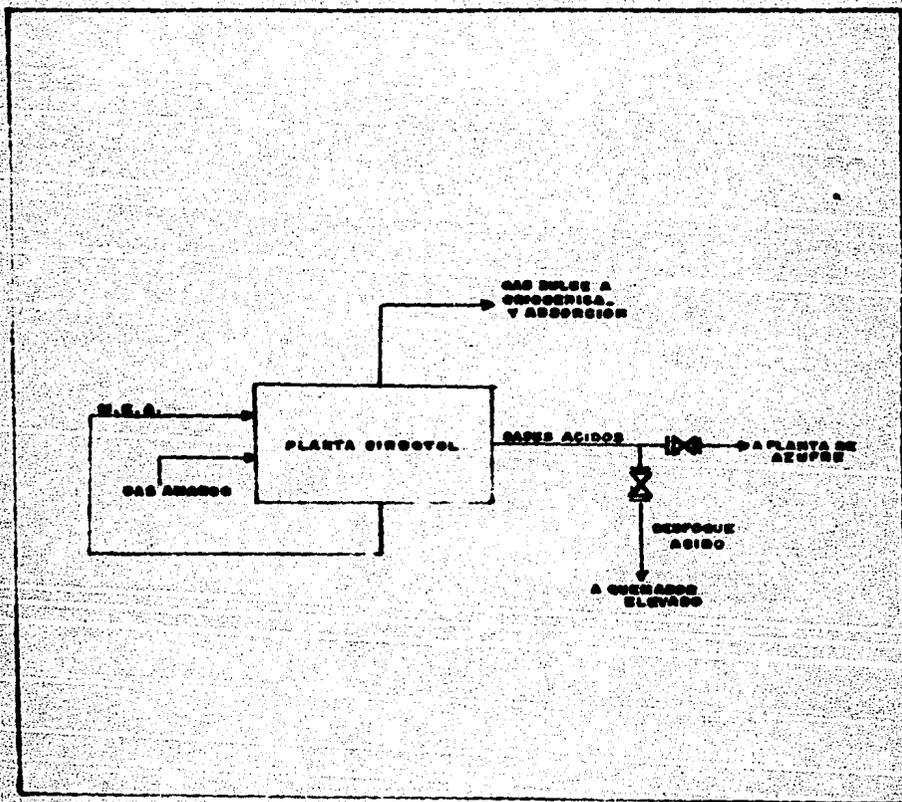


Figura 5.3 Tratamiento a gases ácidos de Planta Girbetel.

el momento de la combustión del desfogue ácido, ambos flujos los estimaré haciendo un balance de materia respecto al sulfhídrico presente en el desfogue ácido.

V.2.1. Balance de Materia para Estimar el Flujo de SO₂ Emitido por el Quemador Elevado

- a) Datos respecto al desfogue ácido de la Planta Girbotol, enviado al quemador elevado.

Flujo: 13813 Kg/hr.

Fluido: Gas ácido cuya composición es 30.65 por ciento en mol de H₂S, ver la tabla 5.1.

Peso Molecular: 38.9 Kg/kg mol.

Presión: 12 psig (Presión Tot. = 1.816 Atm.)

Temperatura: 70°C (343°K)

$$\begin{aligned} \text{Flujo Volumétrico} &= \frac{Z W R T}{P \text{ (PM) prom.}} \\ &= \frac{0.99 \times 13813 \times 0.082 \times 343}{1.816 \times 38.9} = 5445 \text{ m}^3/\text{hr.} \end{aligned}$$

- b) Reacción química de combustión del sulfhídrico



- c) Base de cálculo: 13813 kg/hr de gas ácido

d) Cálculos:

$$\text{Kgmol/hr de gas ácido enviado al quemador} = \frac{13813}{38.9} = 355.1$$

$$\text{Kgmol/hr de H}_2\text{S que se convertiran a SO}_2 = 0.3065 (355.1) = 108.8$$

$$\text{Kg/hr de H}_2\text{S que se convertiran a SO}_2 = 34 (108.8) = 3700$$

Con el dato anterior, y de la estequiometría de la reacción (5.1) suponiendo una conversión total del sulfhídrico a SO_2 ; el flujo de dióxido emitido por el quemador será:

$$\text{Kg/hr de SO}_2 \text{ emitido} = 3700 (128/68) = 6965$$

$$\text{g/seg de SO}_2 \text{ emitido} = 6965 (1000/3600) = 1935$$

El flujo de sulfhídrico que emitirá el quemador, en caso de expulsar el desfogue ácido sin ser quemado, puede estimarse con el dato usado en el paso anterior.

$$\text{g/seg de H}_2\text{S emitido} = 3700(1000/3600) = 1028$$

V.2.2. Resumen de las Características del Quemador Elevado

Dimensiones del quemador elevado

Altura: 61 m.

Diámetro: 0.61 m.

Datos respecto al flujo emitido de gases:

Flujo de SO_2 emitido = 1935 g/seg.

Considerando que el quemador elimina el desfogue ácido sin ser quemado.

Flujo de H_2S emitido = 1028 g/seg.

Flujo total de gases expulsado = $5445 \text{ m}^3/\text{hr}$.

V_s : Velocidad de expulsión de los gases = 5.2 m/seg.

T_s : Temperatura de salida de los gases = 70°C (343°K).

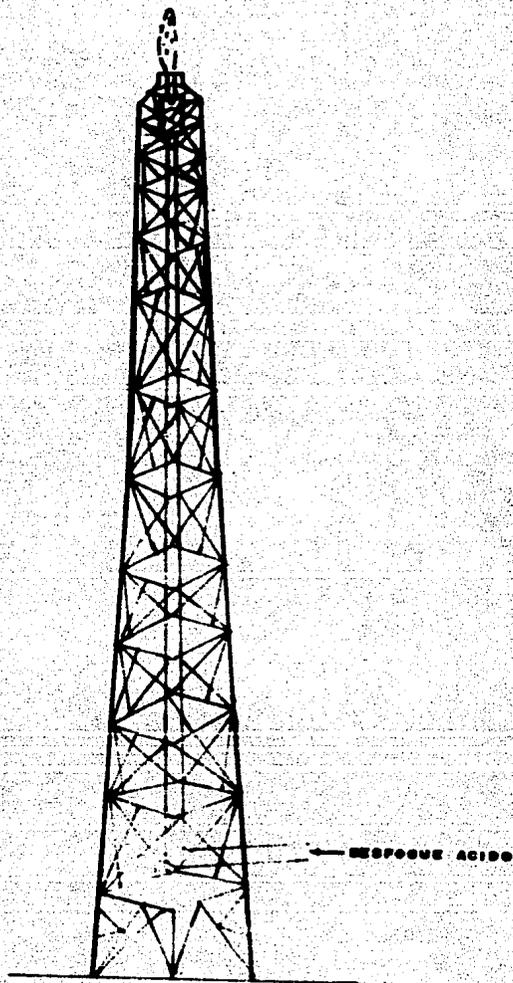


Figure 8.4 Quemador Elevado del C.P.Q. Poza Rica, Ver.

VI. PREDICCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LAS EMISIONES DE SO_2 Y H_2S EN EL C.P.Q. POZA RICA, VER.

La predicción de la contaminación debido a las emisiones de SO_2 y H_2S del C.P.Q. Poza Rica, Ver., implica, la estimación de la concentración en el aire, de estos contaminantes.

Como la contaminación atmosférica es influenciada por factores meteorológicos tales como velocidad del viento y estabilidad atmosférica, la contaminación que se presente en la zona debido a tales emisiones, dependerá de las condiciones meteorológicas que se presenten en esta zona. Así, para abreviar este estudio, sólo estimaré la contaminación para los casos más difíciles de dispersión de contaminantes (estabilidades atmosféricas F y C).

La estimación de la contaminación producida por las emisiones de las fuentes descritas en el capítulo precedente, se hará en forma individual, con el fin de determinar si dichas emisiones no resultan ser perjudiciales en áreas aledañas al Complejo Petroquímico. Usaré para tal efecto, el modelo de Gifford y Pasquill descrito en el capítulo IV, específicamente, las (4.6), (4.3) y (4.2).

$$X(x,0,0;H) = \frac{Q \times 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z D} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2} \text{-----(4.6)}$$

$$\Delta H = \frac{V_s d}{U} (1.5 + 2.68 \times 10^{-3} p \frac{T_s - T_a}{T_s} d) \text{-----(4.3)}$$

$$H = h + \Delta H \text{-----(4.2)}$$

Los resultados de las concentraciones predichas con el modelo, deberan compararse con la norma nacional establecida para los contaminantes discutidos aquí. La norma nacional para el SO₂ es de 0.13 ppm; en México, no se ha establecido ninguna norma para el H₂S, pero la norma nacional para este contaminante, en U.S.A. es de 0.03 ppm (para una exposición de 30 min.).

Dado que las concentraciones obtenidas con el modelo se expresan en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para una mejor comparación con la norma, deberán transformarse estas unidades a ppm. Las ecuaciones que usaré para tal efecto son las (2.4) y (2.5) del capítulo II.

Para determinar los lugares o puntos más riesgosos, es decir, los puntos en donde la concentración de contaminantes es más alta; es necesario además de conocer el comportamiento de los vientos en la región, conocer la ubicación de las fuen-

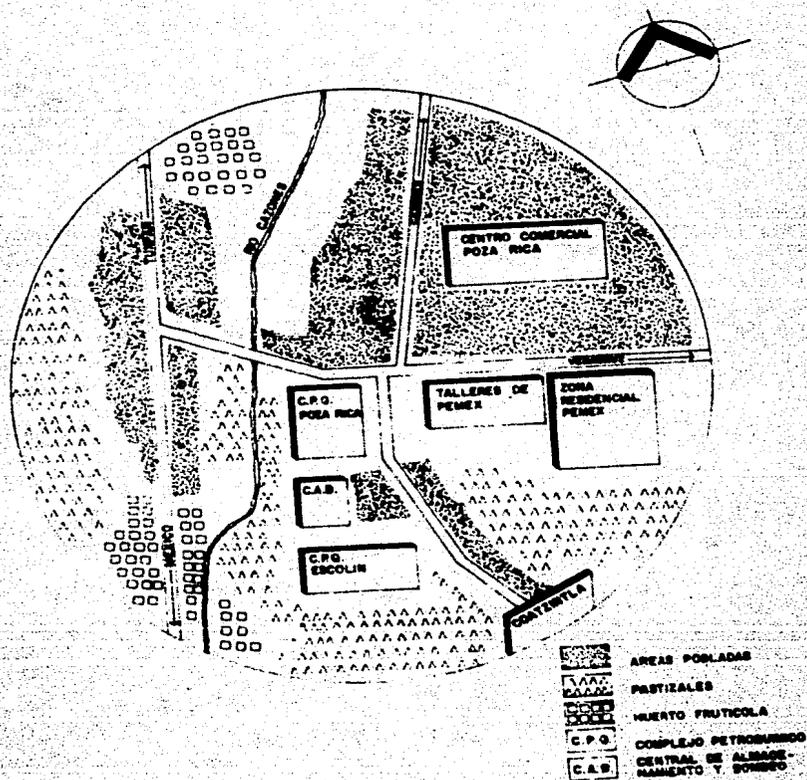


Figura 6.1 Entorno al complejo petroquímico Poza Rica, Ver., diámetro 5 Km.

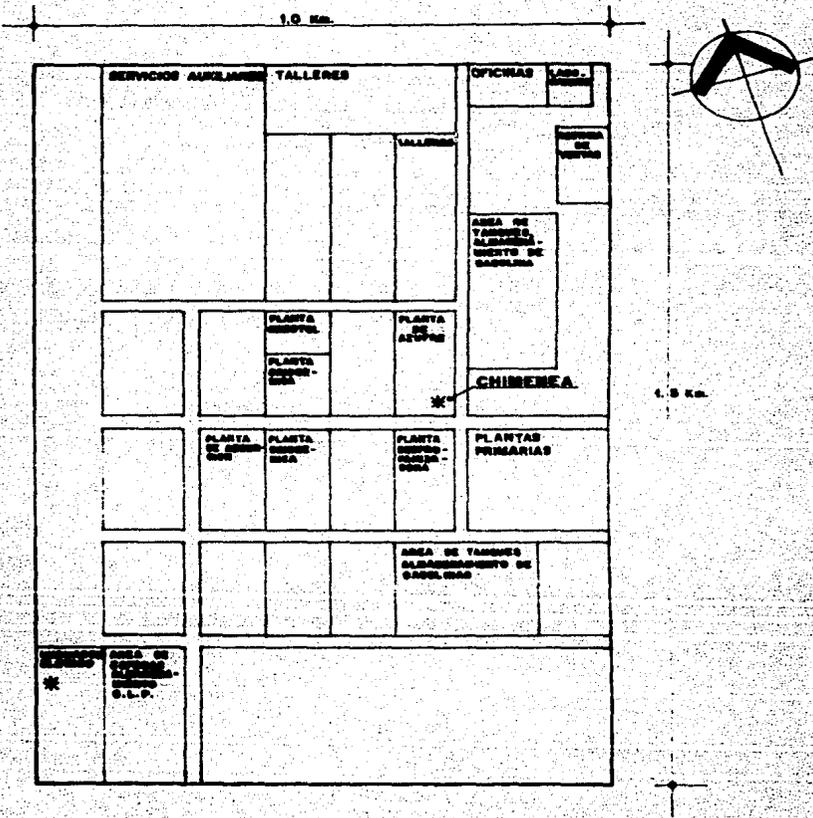


Figura 6.2 Localización: Planta de Azufre y quemador elevado dentro del C.P.Q. Pozo Rico, Ver.

tes contaminantes dentro del C.P.Q. Poza Rica, Ver., ver las figuras 6.1 y 6.2.

Una información que podría ser útil, para apreciar los daños que las emisiones de SO_2 y H_2S del C.P.Q. Poza Rica ocasionarían en la región de estudio, es la expuesta en las tablas 2.1 y 2.2 del capítulo II.

VI.1. CHIMENEA DE LA PLANTA DE AZUFRE

Según datos de Laboratorio, la chimenea de la Planta de Azufre no emite ácido sulfhídrico (H_2S), por lo tanto, sólo estimaré la contaminación respecto al dióxido de azufre emitido. La información meteorológica que usaré para tal efecto, es la expuesta en las tablas 3.2 y 3.3 del capítulo III. Para abreviar el tema, sólo consideraré los casos más difíciles para la dispersión de los contaminantes (estabilidad atmosférica F y estabilidad atmosférica C).

Del capítulo precedente, las características de la chimenea de la Planta de Azufre, son:

Q: Flujo emitido de SO_2 = 484 g/seg. (Q: es el promedio mensual)

h: Altura de la chimenea = 23 m.

d: Diámetro de la chimenea = 1.78 m.

V_s : Velocidad de expulsión de los gases = 1.2 m/seg.

T_s : Temperatura de los gases emitidos = 350°C (623 K)

1er. caso. Estabilidad atmosférica F: Epoca de Invierno

Comportamiento meteorológica en la región:

T_a : Temperatura ambiente = 7.5°C (280.5°K), ver tabla 3.3

p : Presión atmosférica = 1017 mbar (1Atm = 1017 mbars)

U_o : Velocidad del viento = 2 m/seg. (Ver la tabla 3.2).

La velocidad del viento que usaré en el modelo (ecuación 4.6), es la velocidad del viento a la altura de la fuente, para conocer esta última, utilizaré la ecuación (3.1) del capítulo III. Aplicando esta ecuación, la velocidad del viento a la altura de la chimenea es:

$$U = U_o \left(\frac{h}{z_o} \right)^{0.3} = 2.0 \text{ m/seg.} \left(\frac{23}{10} \right)^{0.3} = 2.6 \text{ m/seg.}$$

De la ecuación (4.3), usando la velocidad del viento a la altura de la chimenea, la elevación de la pluma (ΔH), es:

$$\Delta H = \frac{(1.2)(1.78)}{(2.6)} (1.5 + 2.68 \times 10^{-3} (1017) \frac{623 - 280.5}{623}) (1.78) = 3.5 \text{ m}$$

Con el dato anterior, y usando la ecuación (4.2), la altura efectiva de la chimenea será:

$$H = h + \Delta H = 23 \text{ m.} + 3.5 \text{ m.} = 26.5 \text{ m.}$$

Sustituyendo los valores de U y H previamente determinados, así como el valor de Q, en la ecuación (4.6), se obtiene el perfil de contaminación de la chimenea.

$$X(x, 0, 0; 26.5) = \frac{484 \times 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z (2.6)} \cdot e^{-\left[\frac{x}{\sigma_x} \right]^2}$$

Aplicando esta última expresión; en la tabla 6.1 se resume la contaminación que produce la chimenea en dirección del viento.

TABLA 6.1
 CONTAMINACION DE SO₂ A NIVEL PISO EN LA DIRECCION DEL VIENTO,
 QUE PRODUCE LA CHIMENEA DE LA PLANTA DE AZUFRE, CUANDO LAS
 CONDICIONES METEOROLOGICAS SON: ESTABILIDAD ATMOSFERICA
 F, U₀ = 2.0 m/seg.

x (m.) [*]	σ_y (m.)	σ_z (m.)	$X(x,0,0;26.5)$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm ^{**}
100	4.0	2.3	0	0
200	7.6	4.0	5.7×10^{-4}	0
300	11.0	5.6	13.2	0.0047
400	14.2	7.0	1197.4	0.43
500	18.0	8.4	2704.0	0.972
600	21.0	9.6	6510.1	2.34
700	24.0	11.0	12326.0	4.43
800	27.0	12.0	15960.0	5.73
900	31.0	13.0	18412.0	6.62
1000	34.0	14.0	20750.0	7.46
1100	37.0	15.0	22422.0	8.06
1200	40.0	15.8	22971.0	8.26
1300	43.0	16.8	23641.0	8.50
1400	46.0	17.2	22855.0	8.218
1600	52.0	19.0	22674.0	8.154
1800	58.0	20.0	21234.0	7.63
2000	64.0	21.5	20147.0	7.24
3000	91.0	26.5	14905.0	5.36
4000	120.0	30.0	11144.0	4.00
5000	148.0	34.0	8691.0	3.12
10000	275.0	47.0	3909.0	1.40

* x , es la distancia desde la chimenea en la dirección del viaje de la pluma, en metros

** Las ppm fueron estimadas a la temperatura de 7.5°C

2do. caso. Estabilidad atmosférica C: Epoca cálida

Comportamiento meteorológico en la región:

Ta: Temperatura ambiente = 27°C (300°K), ver tabla 3.3.

p : Presión atmosférica = 1010 mbar

Uo: Velocidad del viento = 3.0 m/seg (Uo: es a 10 m de altura)

La velocidad del viento a la altura de la chimenea, determinada con la ecuación (3.1), es:

$$U = 3.0 (23/10)^{0.2} = 3.5 \text{ m/seg.}$$

La altura o elevación de la pluma, estimada con la ecuación (4.2), es:

$$\Delta H = 2.5 \text{ m.}$$

Con el dato anterior, usando la ecuación (4.2), la altura efectiva de la chimenea es:

$$H = 23 \text{ m.} + 2.5 \text{ m.} = 25.5 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores de U y H previamente determinados, así como el valor de Q, en la ecuación (4.6); se obtiene el perfil de contaminación que la chimenea produce en la dirección del viento.

$$X(x,0,0;25.5) = \frac{484 \times 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z (3.5)} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{25.5}{\sigma_z} \right)^2}$$

Con esta última ecuación, podemos calcular la concentración de SO_2 a cualquier distancia x, desde la chimenea. Así, en la tabla 6.2 se resume la contaminación que la chimenea produce en la dirección del viento. Los coeficientes σ_y y σ_z , fueron determinados de los nomogramas de las figuras 4.2 y 4.3., del capítulo IV.

TABLA 6.2

CONTAMINACION DE SO_2 A NIVEL PISO EN LA DIRECCION DEL VIAJE DE LA PLUMA, QUE PRODUCE LA CHIMENEA DE LA PLANTA DE AZUFRE, CUANDO LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS SON: ESTABILIDAD ATMOSFERICA:
 C y $U_0 = 3.0$ m/seg.

x (en m.)*	σ_y (en m.)	σ_z (en m.)	$\mu g/m^3$	ppm**
100	12.5	7.4	1256.0	0.483
200	24.0	14.0	24939.0	9.59
300	34.0	20.0	28715.0	11.04
400	45.0	26.0	23257.0	8.944
500	58.0	32.0	17265.0	6.64
600	65.0	38.0	14228.0	5.472
700	74.0	44.0	11429.0	4.395
800	85.0	50.0	9074.0	3.497
900	96.0	55.0	7487.0	2.879
1000	105.0	60.0	6384.0	2.455
1200	122.0	70.0	4823.0	1.854
1400	142.0	84.0	3524.1	1.355
1600	160.0	92.0	2878.0	1.106
1800	180.0	105.0	2261.0	0.869
2000	200.0	115.0	1867.0	0.718
3000	285.0	170.0	898.0	0.345
4000	387.0	220.0	514.0	0.197
5000	450.0	270.0	360.0	0.138
10000	820.0	500.0	107.0	0.041

* x, es la distancia, desde la chimenea, en la dirección del viaje de la pluma, en metros.

** Las ppm, en este caso, fueron estimadas a la temperatura de $27^{\circ}C$.

VI.2. QUEMADOR ELEVADO DEL C.P.Q. POZA RICA, VER.

Este quemador emite dióxido de azufre SO_2 , sólo cuando elimina por combustión el desfogue ácido de la Planta Girbotol, rico en sulfhídrico. Esto ocurre, cada vez que la Planta de Azufre entra en reparación. En caso de que el quemador se apagase por alguna falla accidental en el momento de la combustión del desfogue ácido, éste, emitirá gran cantidad de sulfhídrico (H_2S).

En este apartado, voy a estimar la contaminación que produce el quemador elevado, debido a tales emisiones (SO_2 y H_2S). Para aborrrar cálculos, consideraré los mismos casos o situaciones meteorológicos usadas en el estudio de la contaminación de la chimenea de la Planta de Azufre.

Del capítulo anterior, las características del quemador elevado son:

- Q: Flujo de SO_2 emitido = 1935 g/seg.
- h: Altura del quemador elevado = 61 m.
- d: Diámetro del quemador = 0.61 m.

Considerando que el quemador elimina el desfogue ácido sin ser quemado:

Q: Flujo de H_2S emitido = 1028 g/seg.

V_s : Velocidad de expulsión de los gases = 5.2 m/seg

T_s : Temperatura de los gases expulsados = $70^\circ C$ ($343^\circ K$)

VI.2.1. Contaminación a nivel piso debido a la emisión de SO_2 .

1er. caso. Estabilidad atmosférica F : Epoca de invierno.

Comportamiento meteorológico en la región:

T_a : Temperatura ambiente = $7.5^\circ C$ ($280.5^\circ K$), ver la tabla 3.3.

p : Presión atmosférica = 1017 mbar

U_o : Velocidad del viento = 2.0 m/seg. (ver la tabla 3.2, Cap. III)

La velocidad del viento a la altura del quemador, determinada con la ecuación (3.1), es:

$$U = U_o (h/Z_o)^{0.3} = 2.0 \text{ m/seg. } (61/10)^{0.3} = 3.5 \text{ m/seg.}$$

La altura o elevación de la pluma (ΔH), en este caso, se considera como la suma de la altura de la flama y la altura del humo.

$$\Delta H = \Delta H_{\text{flama}} + \Delta H_{\text{humo}}$$

El dato que usaré, en este caso en la ecuación (4.2), es el ΔH reportado por el Laboratorio. ($\Delta H = 4.0 \text{ m}$).

La altura efectiva del quemador, usando el dato anterior para determinarla, es:

$$H = h + \Delta H = 61 \text{ m.} + 4.0 \text{ m.} = 65.0 \text{ m.}$$

Sustituyendo los valores de U y H en la ecuación (4.6), el perfil de contaminación que produce el quemador elevado, queda expresado como:

$$X(x, 0, 0; 65) = \frac{1935 \times 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z (3.5)} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{65}{\sigma_z} \right)^2}$$

Siguiendo el mismo procedimiento de cálculo que para los casos anteriores de la chimenea de la Planta de Azufre, la contaminación que produce el quemador elevado, se indica en la tabla 6.3.

TABLA 6.3

CONTAMINACION DE SO_2 A NIVEL PISO EN LA DIRECCION DE VIAJE DE LA PLUMA, QUE PRODUCE EL QUEMADOR ELEVADO CUANDO LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS SON: CLASE DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA:

$F: U_0 = 2.0 \text{ m/seg.}$

$x(m)$	$\sigma_y (m)$	$\sigma_z (m)$	$\mu g/m^3$	ppm
100	4.0	2.3	0.0	0
200	7.6	4.0	2.6×10^{-51}	0
300	11.0	5.6	1.6×10^{-23}	0
400	14.2	7.0	3.3×10^{-13}	0
500	18.0	8.4	1.1×10^{-7}	0
600	21.0	9.6	9.7×10^{-5}	0
700	24.0	11.0	1.8×10^{-3}	0
800	27.0	12.0	0.23	0
900	31.0	13.0	1.62	0.0006
1000	34.0	14.0	7.71	0.008
1200	37.0	15.8	56.83	0.02
1400	46.0	17.2	180.0	0.06
1600	52.0	19.0	510.0	0.18
1800	58.0	20.0	770.0	0.27
2000	64.0	21.5	1320.0	0.47
3000	91.0	26.5	3600.0	1.29
4000	120.0	30.0	4670.0	1.68
5000	148.0	34.0	5620.0	2.02
10000	275.0	47.0	5230.0	1.88
15000	380.0	54.0	4160.0	1.49
20000	500.0	60.0	3260.0	1.17
30000	720.0	68.0	2280.0	0.82

2do. caso. Estabilidad atmosférica C: Epoca cálida.

Comportamiento meteorológico en la región:

Ta: Temperatura ambiente = 27°C (300°K)

p : Presión atmosférica = 1010 mbar.

Uo: Velocidad del viento = 3.0 m/seg.

La velocidad del viento a la altura del quemador, determinada con la ecuación (3.1), es:

$$U = 3.0 (61/10)^{0.2} = 4.3 \text{ m/seg.}$$

La altura o elevación de la pluma, ΔH , reportada por el Laboratorio del C.P.Q. Poza Rica, es:

$$\Delta H = 4.0 \text{ m.}$$

De la ecuación (4.2) la altura efectiva del quemador elevado, es:

$$H = 65 \text{ m.}$$

Sustituyendo los valores de U y H previamente determinados, así como el valor de Q en la ecuación (4.6), obtenemos

la siguiente expresión:

$$X(x,0,0;65) = \frac{1935 \times 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z (4.3)} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{65}{\sigma_z} \right)^2}$$

Siguiendo el mismo procedimiento de cálculos que en los casos anteriores, en la tabla 6.4 se registra la contaminación que produce el quemador elevado en la dirección del viento.

TABLA 6.4
CONTAMINACION DE SO₂ A NIVEL PISO EN LA DIRECCION DEL VIAJE DE
LA PLUMA, QUE PRODUCE EL QUEMADOR ELEVADO CUANDO LAS CONDICIO-
NES METEOROLOGICAS SON: CLASE DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA:
C, U₀ = 3.0 m/seg.

x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm
100	12.5	7.4	2.7×10^{-11}	0.0
200	24.0	14.0	8.89	0.003
300	34.0	20.0	1070	0.41
400	45.0	26.0	5380	2.07
500	58.0	32.0	9810	3.77
600	65.0	38.0	13430	5.16
700	74.0	44.0	14770	5.68
800	85.0	50.0	14480	5.57
900	96.0	55.0	13490	5.18
1000	105.0	60.0	12640	4.86
1200	122.0	70.0	10900	4.19
1400	142.0	84.0	8900	3.42
1600	160.0	92.0	7500	2.88
1800	180.0	105.0	6260	2.40
2000	200.0	115.0	5310	2.04
3000	385.0	170.0	2750	1.06
4000	387.0	220.0	1610	0.62
5000	450.0	270.0	1150	0.44
10000	820.0	500.0	350	0.13
15000	1200.0	730.0	160	0.06
20000	1520.0	940.0	100	0.03
30000	2200.0	1380.0	47	0.01

VI.2.2. Contaminación a nivel piso debido a la emisión de H_2S .

1er. caso. Estabilidad atmosférica F: Epoca de invierno.

Comportamiento meteorológico en la región:

T_a : Temperatura ambiente = $7.5^\circ C$ ($280.5^\circ K$)

P : Presión atmosférica = 1017 mbar.

U_0 : Velocidad del viento = 2.0 m/seg.

La velocidad del viento a la altura del quemador, determinada con la ecuación (3.1), es:

$$U = 3.5 \text{ m/seg.}$$

Con la ecuación (4.3), la altura o elevación de la pluma ΔH , es:

$$\Delta H = \frac{(5.2)(0.61)}{(3.5)} (1.5 + 2.78 \times 10^{-3} (1017)) \frac{343 - 280.5}{343} (0.61) = 1.67 \text{ m.}$$

De la ecuación (4.2), la altura efectiva del quemador,

es:

$$H = h + \Delta H = 61 \text{ m.} + 1.67 \text{ m.} = 62.7 \text{ m.}$$

Sustituyendo los valores de U y H, así como el valor de Q en la ecuación (4.6), obtenemos el perfil de contaminación de sulfhídrico en dirección del viento.

$$X(x,0,0;62.7) = \frac{1028 \times 10^6}{U \sigma_y \sigma_z (3.5)} e^{-\left[\frac{x^2}{\sigma_x^2}\right]}$$

Aplicando el mismo procedimiento de cálculos que en los casos anteriores, la contaminación de sulfhídrico (H_2S) a nivel piso, se indica en la tabla 6.5.

TABLA 6.5
PERFIL DE CONTAMINACION DE H₂S A NIVEL PISO QUE PRODUCE EL
QUEMADOR ELEVADO CUANDO LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS SON:
CLASE DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA: F, U₀ = 2.0 m/seg.

x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm
100	4.0	2.3	0.0	0
200	7.6	4.0	4.5×10^{-47}	0
300	11.0	5.6	9.1×10^{-22}	0
400	14.2	7.0	3.5×10^{-12}	0
500	18.0	8.4	4.9×10^{-7}	0
600	21.0	9.6	2.5×10^{-4}	0
700	24.0	11.0	3.1×10^{-2}	0
800	27.0	12.0	0.34×10^{-1}	0
900	31.0	13.0	2.06	0.001
1000	34.0	14.0	8.66	0.005
1200	37.0	15.8	60.85	0.04
1400	46.0	17.2	150.0	0.10
1600	52.0	19.0	410.0	0.27
1800	58.0	20.0	590.0	0.40
2000	64.0	21.5	970.0	0.65
3000	91.0	26.5	2360	1.60
4000	120.0	30.0	2920	1.97
5000	148.0	34.0	3390	2.30
10000	275.0	47.0	2970	2.01
15000	380.0	54.0	2320	1.57
20000	500.0	60.0	1810	1.22
30000	720.0	68.0	1250	0.84

VII. CONCLUSIONES

La contaminación atmosférica es un fenómeno inconveniente para el hombre y su medio ambiente debido a los múltiples efectos nocivos que provoca en éstos. No sólo afecta la calidad del aire de las grandes ciudades y distritos industriales, sino que puede afectar aún el de regiones bastante lejanas. Por esta razón, los ingenieros debemos esforzarnos por evitarla o al menos controlarla.

El modelo que aquí se ha utilizado es una herramienta que los ingenieros podrían utilizar para evaluar la contaminación atmosférica. La información obtenida con el modelo puede ser utilizada en la toma de decisiones para el control y abatimiento de la contaminación atmosférica.

En cuanto a la contaminación de SO_2 que produce la chimenea de la Planta de Azufre, rebasa considerablemente la norma nacional establecida (0.13 ppm); por lo que se recomienda, para la seguridad de los trabajadores que laboran en el Complejo Petroquímico, que Petróleos Mexicanos tome las medidas necesarias para reducir esta contaminación.

Lógicamente que reducir tal contaminación, implica, reducir la cantidad de SO_2 a la salida de la chimenea. Algunas

de las soluciones a este problema podrían ser:

a) Aumentar la eficiencia de la Planta de Azufre. Esto podría lograrse, acortando el tiempo de cambio del catalizador (Al_2O_3) en los convertidores, de un año a 6 meses; ver la figura 5.1.

b) Adquirir un equipo adecuado para remover el SO_2 de la corriente de gases que emite la chimenea.

La contaminación de SO_2 que produce el quemador elevado, rebasa la norma nacional (0.13 ppm); sin embargo, debido a la ubicación del quemador, no representa peligro para la salud de los trabajadores que laboran en el Complejo Petroquímico, pero sí podría ser nociva para los vegetales y para los materiales de construcción; por lo que se recomienda, evitar que se prolongue el tiempo de estas emisiones (SO_2).

Una recomendación que podría evitar mayores daños al medio ambiente es la de no parar la planta de Azufre durante la época de invierno.

En cuanto a la contaminación de H_2S que podría presentarse en caso de alguna falla del quemador, igual que la de SO_2 no afectaría la salud de los trabajadores del Complejo

Petroquímico. Poza Rica.

Debido a que los vientos dominantes son del norte, el sur respecto al Complejo Petroquímico Poza Rica, es la zona mayor contaminada; por lo tanto, no es conveniente que se ubiquen en esta dirección nuevos grupos de población.

Por ser la época de invierno la más difícil para la dispersión de los contaminantes y para controlar la contaminación atmosférica, se recomienda a los ingenieros, que tengan un mayor control en la operación de las Plantas Industriales durante esta época.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Stern Arthur C. "Fundamentals of Air Pollution"
Academic Press, N. Y. 1970 Vol.
1.
2. Vizcaino M. F. "La Contaminación en México"
Fondo de Cultura Económica 1ª.
Edición.
3. Stoker and Seager "Contaminación del Aire y del Agua"
Editorial Blue, España, 1981.
4. S.S.A "Ley de la Contaminación Ambiental"
S.S.A., México, 1971.
5. Penex "Contaminación Atmosférica"
Recopilación; Vol. 1 y 2.
6. Penex "Aspectos Generales Sobre la Contami-
nación Ambiental".
Gerencia de Protección Ambiental,
1983.
7. Ross R. D. "La Industria de la Contaminación
del Aire"
1ª Edición, Editorial Diana.
8. Giorgio J. A. Del "Contaminación Atmosférica" (Métodos
de Medida y Redes de Vigilancia)
1ª Edición, Editorial Alhambra;
España, 1977.

9. Strobbe M. A. "Orígenes y Control de la Contaminación Ambiental"
1ª Edición, Editorial C.E.C.S.A., México, 1973.
10. Miller Albert "Meteorología"
Editorial Labor S.A., España 1972.
11. Rodríguez C. "Variación de la Velocidad del Viento con la Altura en un Punto".
Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. Informe No. 4, 1961.
12. Biberó R. J. "Systems Approach to Air Pollution Control"
Editorial John Wiley and Sons, U.S.A. 1974.
13. Newton I.S. "Industrial Pollution"
Van Nostrand Company, U.S.A., 1974
14. "Manual on Disposal of Refinery Wastes"
Vol. 2 Waste Gases and Particulate Matter, American Petroleum Institute, N. Y., 1957.
15. Pemex "El Uso de Modelos para el Estudio de la Contaminación Atmosférica"
Octubre, 1971.

16. Mens Brito C. "Modelo de Dispersión de Bióxido de Azufre en el Valle de México" Primera Reunión Nacional sobre Promas de Contaminación Ambiental, Enero 1973.
17. Stern A. C. "Proceedings of Symposium on Multiple-Source Urban Diffusion Models" U.S. Environmental Protection Agency, North Carolina 1970.
18. Pemex. "Manual de Operación de la Planta de Azufre del C.P.Q. Poza Rica, Octubre 1986.