

300618

15

2eg



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MODELOS
MATEMATICOS PARA LA DIFUSION DE CONTA-
MINANTES EN LA ATMOSFERA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

JORGE TREVIÑO AGUADO



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.

I N D I C E

CAPITULO	PAG.
I INTRODUCCION	1
II PARAMETROS QUE INFLUYEN EN EL NIVEL DE CONTAMINACION	4
III DESCRIPCION DE LOS MODELOS MATEMATICOS	31
IV CALCULO DEL NIVEL DE CONTAMINACION CON LOS DISTINTOS METODOS (APLICACION A UN CASO REAL)	39
V ANALISIS DE RESULTADOS	56
VI CONCLUSIONES	77
VII BIBLIOGRAFIA	79
VIII APENDICES	
A. DESCRIPCION DEL PROCESO	83
B. BASES DE DISEÑO	87
C. BALANCES DE ENERGIA Y MATERIA EN EL INCINERADOR..	101
D. DESCRIPCION DEL INCINERADOR Y CHIMENEA	116

CAPITULO I
INTRODUCCION

El siguiente trabajo está motivado por el conocimiento de que en la Industria Petroquímica Básica, que es uno de los soportes principales de la economía mexicana, una de las principales inquietudes es el mejorar la calidad de sus productos y procesos, tratándose de controlar los diversos contaminantes que en ella se presentan de la -- mejor manera posible. Sobre todo en aquellos casos en que la afectación provocada por estos contaminantes, va más allá del ambiente -- laboral, es decir que se presenta en el medio ambiente general deteriorando sus diversos elementos. Entre ellos esta como principal -- afectado el aire.

Sin embargo en la actual industria se generan contaminantes del -- aire y se descargan a la atmósfera mediante chimenea. Este es el mé todo industrial más común de desechar los gases gastados. La concentración a la cual los humos, plantas, animales y estructuras, están expuestos a nivel del suelo, puede reducirse significativamente por la emisión de los gases de chimenea contaminantes hacia la atmósfera a grandes alturas. Esto permite que los contaminantes sean dispersados sobre una gran área. Aunque las chimeneas altas, tal vez ayuden efectivamente a bajar el nivel de concentración de los contaminantes, estas no disminuyen la cantidad de contaminantes que se liberan en la atmósfera. En ciertas situaciones, sin embargo es la manera -- más práctica y económica de proceder con el problema de la contaminación del aire.

La eficiencia de la chimenea está basada en la buena difusión de -- los contaminantes en la atmósfera y para simular dicha difusión, -- existen modelos matemáticos, con los cuales se determina la concentración del contaminante o contaminantes que se están tratando a -- nivel del suelo. En el presente trabajo estos niveles de concentración obtenidos por los modelos permitirán en primera instancia, seleccionar cual de ellos obtiene resultados más cercanos a la realidad.

Dentro de los modelos a utilizar podemos encontrar los siguientes: El Clásico, el de Sutton, el de Bonsanquet-Pearson y el de Sutton - modificado, también conocido como el de USPHS-TVA y el de Pasquill-Gifford.

Concretizando un poco más sobre el objetivo que persigue el estudio podríamos aclarar lo siguiente: se pretende lograr con este trabajo la evaluación de diferentes modelos matemáticos que simulan la difusión de contaminantes, en cuanto a su veracidad y precisión con respecto a los datos experimentales. Para ello se trabajará con los gases de colas de una planta desulfurizadora y recuperadora de azufre, ubicada en el poblado de Cactus, estado de Chiapas. Enfocando los trabajos al dióxido de azufre (SO_2), como principal contaminante -- atmosférico, generado por este proceso y cuyo control es de interés particular en el camino que lleva al mejoramiento ambiental y a la optimización del proceso.

Los resultados obtenidos podrán ser manejados en forma comparativa, ya sea de los modelos entre sí y/o con los datos experimentales disponibles de la planta. Pudiendo así seleccionar cual de los modelos presenta un comportamiento más realista para las condiciones que se manejan.

Para lograr los objetivos anteriores se necesitan hacer algunas consideraciones y algunos cálculos, los cuales se explicarán más detalladamente en el resto del contenido de la tesis y que pueden ser -- considerados como los alcances de la misma. Dentro de ellos encontramos los siguientes: El establecimiento y estudio de todos los parámetros que influyen en la difusión de los contaminantes emitidos a la atmósfera y el nivel de concentración de los mismos; el realizar los balances de masa y energía en el incinerador para las condiciones de diseño, el conocimiento y manejo de los modelos matemáticos para la simulación de la difusión de contaminantes en el aire, calculando con ellos el nivel de contaminación; y compararlo contra las normas vigentes de la región; y el conocer como se lleva a cabo un estudio comparativo de variables técnicas, con el respectivo conocimiento de los factores que se involucran en la realización del mismo.

Habiendo cubierto los alcances y objetivos de esta tesis se pretende poder concluir y dar observaciones sobre los puntos tratados durante la elaboración del presente documento.

CAPITULO II
PARAMETROS QUE INFLUYEN EN EL NIVEL DE CONTAMINACION

Dentro de los diferentes problemas de contaminación, se pueden observar muchas causas y fenómenos. Mas sin embargo, dentro de los problemas de la contaminación del aire, podemos vislumbrar tres etapas o requisitos generales que se presentan en todos los casos.

- 1.- Debe existir la emisión de contaminantes o un precursor de contaminación en la atmósfera libre.
- 2.- Ya existente la emisión, ésta se confina a un volumen restringido de aire.
- 3.- El aire contaminado empieza a producir afectación física, mental o social en el buen desarrollo de la vida, ya sea animal, vegetal o humana, e incluso puede afectar a lo inanimado (edificios, casas, muebles, etc.).

Por lo general, se tratan de controlar las primeras etapas, ya que entre ellas dos pueden llegar a provocar la tercera que es en la cual ya el daño se realiza. La primera etapa se refiere a las fuentes generadoras de la emisión que vendrían a ser las descargas de residuos gaseosos de los múltiples procesos industriales, los gases de escape de automóviles, etc. El segundo paso es ya realizada la descarga, ver en que condiciones se realiza la misma, para que si es posible se disminuya el grado de contaminación y así el efecto producido en la tercera etapa sea menor o nulo.

La presente tesis estará ubicada en la segunda etapa, ya que analizará una determinada emisión de SO_2 y su comportamiento en el aire.

Existen numerosos factores o variables que se involucran dentro del comportamiento de un contaminante en la atmósfera. Dentro de estos factores podríamos hacer una división de los mismos de la siguiente manera:

- FACTORES DE PLANTA

- + Propiedades del contaminante
- + Tipo y Composición del contaminante
- + Configuración de la planta
- + Configuración de la chimenea
- + Tipo de emisión y fuente
- + Taza y temperatura de emisión
- + Altura de la pluma de humos
- + Tamaño y Eficiencia de la planta

- FACTORES AMBIENTALES O DE LOCALIZACION

- + Topográficos
- + Meteorológicos
 - a) La tasa adiabática del lapso
 - b) Movimiento horizontal del aire
 - c) Movimiento Vertical del aire
 - d) Velocidad y Dirección del viento
 - e) Composición del aire
 - f) La estabilidad del ambiente
 - g) Tipos y conductas de las plumas
- + Sensibilidad de las areas aledañas a la contaminación

- GLC

A continuación haremos una descripción de cada uno de ellos y la posible relación de unos con otros.

FACTORES DE PLANTA

- + Propiedades características del contaminante -
 - a) Propiedades físicas.- Tamaño de partícula, forma, area de la superficie, densidad, carga eléctrica, radioactividad, presión de vapor, -- temperatura y presión de la substancia sobretodo si están relacionadas con su estado físico mientras se almacena o descarga, etc.

b) Propiedades Químicas.- Acidez y alcalinidad, solubilidad, hidrosco-
pia, reactividad fotoquímica de los vapores y corrosividad, coeficien-
tes de dispersión, etc.

c) Propiedades Biológicas.- Toxicidad a los humanos, plantas y tejidos -
animales, sabor, olor, etc.

+ Tipo y Composición del Contaminante

Generalmente los tipos de contaminantes son agrupados en dos divisiones:
Partículas y Gaseosos. La primera se subdivide a su vez en partículas
sólidas y partículas líquidas. A continuación aparece una tabla de los
contaminantes del aire que generalmente encontramos.

Clasificación de los Contaminantes del aire

<u>Materias en Partículas</u> (sólidas y líquidas)	<u>Substancias Gaseosas</u>
Polvo	Gases
Cenizas	Vapores
Humos	
Hollín	
Gotas (diámetro de partícula ≤ 0.1 a 400μ)	
Neblina o Niebla	
Aereosoles	

Algunos ejemplos de contaminantes del aire, son:

<u>Polvos</u>	<u>Humos</u>	<u>Gotas o Niebla</u>	<u>Gases</u>	<u>Vapores</u>
Cemento	Fe_2O_3	H_2SO_4	SO_2	Gasolina
Tierra	ZnO	$HCrO_2$	N_2O_3	Tricloro etileno
Granos	PbO	Aceite	CO	Percloro etileno
C	etc.	Grasas	H_2S	Tolueno
etc.		Pinturas	Cl_2	Estireno
		etc.	etc.	etc.

Cuando hablamos del contaminante, se puede tratar de una o varias sustancias, como es el caso de la presente tesis en la cual el contaminante, es un gas que está compuesto en diferentes porcentajes por varios compuestos químicos, de los cuales todos o algunos de ellos pueden alterar el medio ambiente y afectar a los seres biótico o abiótico. La composición puede expresarse en cuanto al porcentaje de participación en las moles totales (fracción o mol) o en cuanto al peso total de la mezcla (fracción peso).

+ Configuración de la Planta

Es la forma en que se encuentra construida la planta, ya que ésta afecta la cantidad de aire que se encuentre involucrada en la contaminación, y puede facilitar o impedir el intercambio de aire contaminado con el limpio, el flujo de aire, la turbulencia, etc.

+ Configuración de la Chimenea

Las dimensiones de la Chimenea van a influir de la siguiente manera, el diámetro va a dar la velocidad de los gases de salida de la chimenea y esta relacionada con la altura de la pluma de humos. Y la altura de la chimenea junto con la de la pluma determinan la altura efectiva del emisor. fig.(2.1).

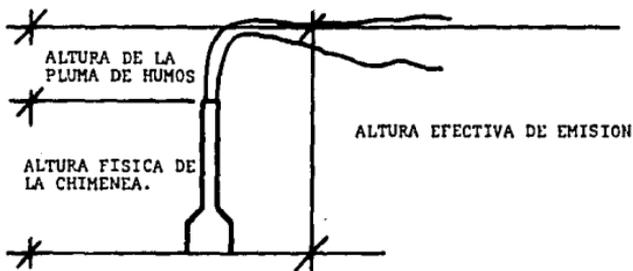


Figura 2.1 Altura Efectiva de una Chimenea.

*Tipo de emisión y fuente.

En lo que se refiere al tipo de emisión, podríamos decir que uno de los aspectos más importantes en el problema de la contaminación del aire - son la naturaleza y características del contaminante emitido a la atmósfera. Y por conveniencia todas las emisiones pueden ser segregadas en los tres estados físicos tradicionales: sólidos, líquido y gaseoso. -- Siendo complementada esta división, con la clasificación de los diferentes tipos de contaminantes, que se expuso como el segundo punto de factores de planta.

Cuando hablamos del tipo de fuente nos referimos a la consideración de que si la fuente es natural o hecha por el hombre. Dentro de las fuentes de tipo natural, podemos localizar las siguientes:

Polvo en viento
Polen y otros aerec- alergenos
Sal de mar
Humo, cenizas y gases de incendios en bosques.
Microorganismos
Gases y olores de pantanos y fangos
Nieblas
Gases y cenizas volcánicas
Radioactividad natural
Ozono de relámpagos y ozonofera
Polvo Meteórico
Brumas naturales
etc.

Y las fuentes de tipo artificiales o hechas por el hombre, las podemos clasificar de acuerdo al siguiente cuadro:

Clase I.- Quemado de combustible para producir calor o poder

Incluye los equipos que operan calentando y utilizan carbón, aceite, - gas o madera para producir poder, espacios calientes y agua caliente.

Las fuentes que se incluyen en esta categoría son las siguientes:

- a) De Utilidad.- Las plantas generadoras de electricidad por vapor, se localizan aquí.
- b) De Residencias.- Incluye una simple o múltiples casas, departamentos o condominios, etc.
- c) De Establecimientos Industriales.-
 - 1.- Maquiladoras grandes o pequeñas
 - 2.- Establecimientos comerciales: hoteles, restaurantes, tiendas, hospitales, oficinas, etc.
 - 3.- Procesadoras.- Lavanderías, garages, gasolineras, auto-servicios, etc.

Clase II.- Incineración

Representa actividades relacionadas con desechar quemando y se incluyen:

- a) Incineraciones Municipales
- b) Incineraciones Industriales o Comerciales
- c) Incineradores caseros
- d) Incineración por condominios o edificios
- e) Quemado de desechos al aire libre

Clase III.- Transportación

Se refiere al quemado o combustión de combustibles por todos los tipos de transporte e incluye:

- a) Automóviles con motores de combustión interna o con máquinas diesel
- b) Camionetas y Camiones (gasolina o diesel).
- c) Locomotoras
- d) Barcos
- e) Aeronaves

Clase IV Industrial y Comercial

Involucra operaciones tecnológicas o de proceso, como lo son:

- a) Fabricación.- Plantas metalúrgicas, Plantas Químicas, Refinerías, Industrias Mineras y de Extracción, etc.
- b) Agrícola.- fertilización, fumigación y quemado de campos.
- c) Actividades Comerciales.- Pintado, limpiado en seco, impresión, -- etc.
- d) Misceláneos.- Demolición, construcción, tratamiento de aguas residuales, etc.

+ Taza y Temperaturas de Emisión

La masa o volumen de la emisión es factor importante de considerar, ya que representa la cantidad de contaminante que se está enviando a la atmósfera. Esto conjuntado con la velocidad con la que salen o se emiten los contaminantes de la chimenea al medio ambiente, -- permite obtener el gasto volumétrico o másico de contaminación, que generalmente se conoce con el nombre de Taza de Emisión.

La temperatura con la que se realiza la emisión del contaminante, va a influir en la difusión del mismo, en la velocidad con que se emiten y en la composición misma del contaminante. Una alta temperatura favorecerá la descarga.

+ Altura de la Pluma de Humos

Esta junto con la altura física de la chimenea como ya se mencionó, nos proporcionan la altura efectiva de la chimenea. La concentración de contaminante disminuye al aumentar la altura de la chimenea, pero la distancia del máximo de concentración también aumenta; sin embargo, dicha máxima concentración es menor a una altura efectiva mayor (fig.- 2.2).

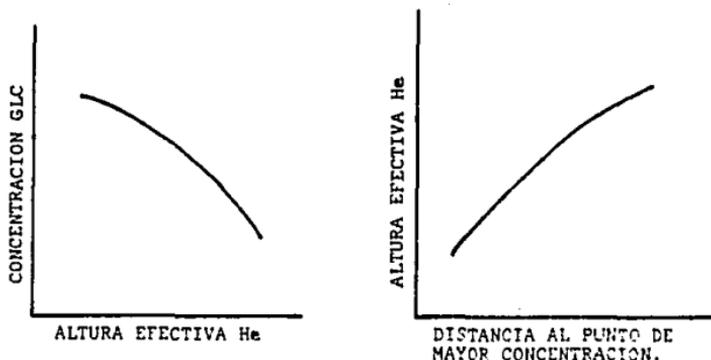


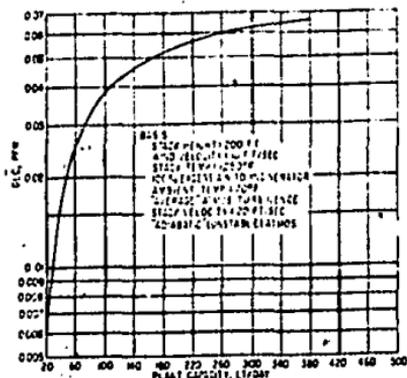
Fig. 2.2 Relación de la altura efectiva (He) con la concentración y la distancia hasta el punto de mayor concentración

† Tamaño y Eficiencia de la Planta

La cantidad de contaminantes expulsados a la atmósfera, está muy relacionada con la eficiencia de la planta y su tamaño o capacidad de producción. Este es el caso de la planta recuperadora de azufre de tipo Claus, ya que si la recuperación es más eficiente, el azufre que habrá que quemar en el incinerador será menor. Por otro lado, si el tamaño de la planta es grande, la cantidad de azufre en el gas de colas será grande y viceversa. Lo anterior, puede verse más claro con las gráficas siguientes:

Si se incrementa el tamaño de planta a una eficiencia de conversión típica y constante del 95% el GLC es afectado drásticamente para plantas pequeñas, (fig. 2.3).

Figura 2.3 El incremento de capacidad puede causar que los límites permitidos de GLC se excedan rápidamente.



Similarmente cambiando la eficiencia de una planta tipo de 200 Ton/día afecta el GLC, el cual aumenta a menor eficiencia, (fig. 2.4).

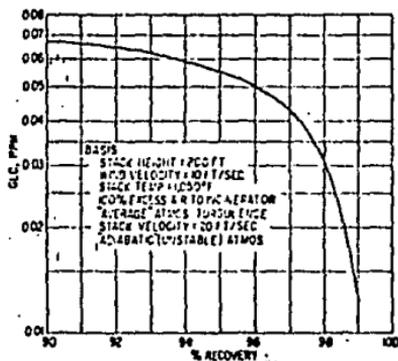


Figura 2.4 Una planta con alto grado de eficiencia de recuperación ofrece grandes ventajas en la reducción de GLC.

FACTORES AMBIENTALES O DE LOCALIZACION

+ Topográficos

La topografía de la superficie puede afectar al viento de una manera que sea necesario tomar en cuenta la conformación de la tierra. Las formas en que afecta están interrelacionadas con dos factores meteorológicos que son la temperatura y el movimiento horizontal del viento.

Dentro de los cambios importantes que produce la topografía de un lugar, tenemos: lo que comúnmente se conoce como "brisa de agua - tierra", la cual se presenta cuando una gran cantidad de agua presenta inercia térmica y causa un cambio lento de temperatura en la cercanía de la tierra. La diferencia en la temperatura del aire sobre la tierra y el agua provocada por enfriamientos y calentamientos, resultando un gradiente de presión acompañado de un flujo de aire.

En un día claro la superficie de la tierra se calienta a una temperatura más alta que la superficie del agua. Debido a que la presión es más alta en el aire frío sobre el agua, el aire fluye del agua a la tierra. En la noche el enfriamiento de la tierra causa una temperatura más baja en la tierra que sobre el agua y entonces el flujo de aire es en sentido contrario. El sistema es usualmente limitado a altitudes de varios cientos de metros en las cuales por lo general son emitidos los contaminantes. Las velocidades desarrolladas durante la noche son menores que las del día, (ver fig. 2.5).

Un segundo efecto provocado por la configuración del terreno en conjunto con la temperatura es lo que se conoce con el nombre de "Viento de Montaña-Valle". Las diferencias entre calentamientos y enfriamientos del piso del valle y sus lados provoca una variación en la densidad y presión del aire, lo que genera un movimiento de aire. El Valle está más frío a una elevación mayor lo que produce una fuerza de descenso del aire. Lo anterior, también se presenta entre una montaña y un valle. Durante la noche es cuando se presenta este flujo hacia abajo y en el día el movimiento es en sentido opuesto debido a que el suelo está caliente y por diferencia de temperaturas mueve el aire. (fig. -- 2.6).

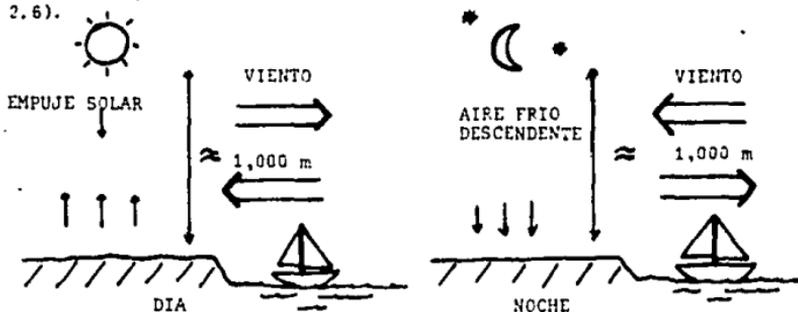


Figura 2.5 Movimiento del viento según la hora del día.



Figura 2.6 Flujo Descendente en un - Valle durante la noche.

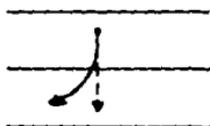
Una tercera y última afectación importante es que la topografía del terreno causará una fuerza de fricción o alguna desviación en la dirección del aire en su movimiento horizontal. La velocidad del viento -

debe ser cero en la superficie de la tierra (altura mínima) y el aumento al valor del gradiente será usualmente a pocos cientos de metros. La fuerza de fricción que se presenta, causa que el aire gire levemente hacia la baja presión. Porque la fricción del aire provoca que no fluya exactamente a lo largo de las isobaras, ya que se mueve a través de ellas con un pequeño ángulo hacia la baja presión como se ve en la figura 2.7.

$p = 1,010$ milibares

$p = 1,007$ mb

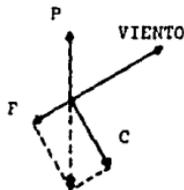
$p = 1,004$ mb



En general el movimiento de aire sobre la superficie de la tierra es - hacia la izquierda del gradiente de flujo y se gira un ángulo cercano a los 15° en superficies no asperas en el día y cambian tanto como 50° durante la noche en terreno rugoso. Cerca de la superficie el aire - gira lentamente en el sentido de las manecillas del reloj, de modo que este ángulo se reduce con la altura hasta algunos cientos de metros -- donde se observa que el viento es igual al gradiente del viento y corre paralelo a las líneas isobaras. (fig. 2.8 a y b).

Fig. 2.8.

a) Efecto de la Fricción en el Balance de Fuerzas



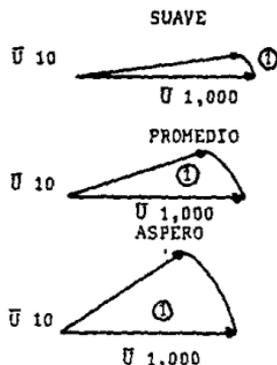
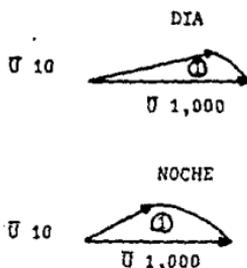
P = Presión

C = Fuerza Coriolis

F = Fricción

Fig. 2.8.

b) Cambio de Angulo.



U_{10} = Viento a 10 mts. sobre el suelo.

$U_{1,000}$ = Viento a 1000 mts. sobre el suelo.

Cambios de dirección del viento con la altura. No sólo la velocidad - del viento, los cambios de dirección son resultado de las fuerzas de - fricción.

+ Meteorológicos

a) Tasa Adiabática del Lapso

Como sabemos la presión atmosférica decrece cuando la altitud se incrementa y cualquier aire que se mueve de la superficie de la tierra caliente se expandirá a un nivel de menor presión. Tomando la presión atmosférica como 14,696 psias, podemos usar la ecuación siguiente para obtener la presión aproximada a cualquier altura: $P_a = 14,696(0.963)^a$ y asumiendo la expansión adiabática del aire seco, podemos calcular la temperatura del aire sea a cualquier altitud con la ecuación siguiente:

$$T_a = T_s (P_a / 14.696)^{(k - 1)/k}$$

donde: a = Altitud en miles de pies

P_a = Presión atmosférica en psias

T_s = Temperatura ambiente a nivel del mar en °R

T_a = Temperatura del aire ascendente en °R a una altitud a

K = 1.4 para el aire seco.

Combinando ecuaciones tenemos $T_a = T_s (0.963)^{0.286 a}$

Si empleamos las ecuaciones para realizar una tabla de valores e incrementos o decrementos:

<u>Altitud</u> <u>m (ft)</u>	<u>Pa</u> <u>(Psia)</u>	<u>Ta</u> <u>(°R)</u>	<u>AP, psia</u> <u>(14.696-Pa)</u>	<u>AT, °R</u> <u>(530-Ta)</u>	<u>AP</u> <u>Por cada 304.8 m (1000ft)</u>	<u>AT</u> <u>(1000ft)</u>
0	14.696	530	-	-	-	-
609.6 (2,000)	14.629	519	1.067	11	0.53	3.0 (5.5)
1219.2 (4,000)	12.639	508	2.057	22	0.51	3.0 (5.5)
1828.8 (6,000)	11.721	497	2.975	33	0.50	3.0 (5.5)
2438.4 (8,000)	10.869	486	3.827	44	0.48	3.0 (5.5)

La tabulación muestra que si la altitud aumenta 304.8 m (1000 ft) la temperatura del aire ascendente disminuye en 3.0 °C (5.5 °F) aproximadamente (0.955°C/100 m). Este enfriamiento causado por el aumento de altitud es llamado "Tasa seca adiabática del Lapso". Cuando el aire contiene alguna cantidad de humedad, ésta eventualmente se condensa conforme el --- aire sube, se expande y enfría. El calor de condensación es parcialmente compensando por el enfriamiento adiabático del aire. De aquí que la tasa adiabática del lapso del aire húmedo es menor que la del aire seco y a esta primera se le llama "Tasa humedad adiabática del Lapso" y tiene un valor de aproximadamente 1.98 °C (3.4 °F) por cada 304.8 m (1000ft) --- (0.65 °C/100 m), tomando como base el aire del nivel del mar con humedad relativa de 75% y condensación del 45% de esta humedad original a los 3,048 mts. (10,000 ft).

b) Movimiento Horizontal del Aire.

Uno de los factores más importantes es el movimiento del aire o --- "viento". Los movimientos del viento pueden ser divididos de acuerdo a su magnitud en: de grande escala (macrometeorológico) y pequeña escala (micrometeorológico).

Macrometeorológico

Como sabemos el viento es resultado de un equilibrio producido por la presión, las fuerzas de Coriolis y de fricción. Los eventos que se engloban son movimientos de grandes masas de aire, provocados por diferencias en la temperatura y presión y la rotación de la tierra. Básicamente los movimientos son el calentamiento de masas de aire en el ecuador y su enfriamiento en los polos con la consecuente circulación Norte-Sur. La rotación de la tierra de Oeste a Este provoca que el viento en el hemisferio Norte tiende a girar en contra de las manecillas del reloj alrededor de centros de baja presión, mientras en el hemisferio Sur gira en el sentido de las manecillas.

Cuando los movimientos se realizan en centros de moderada presión, estos se llaman Ciclones. Y cuando se presentan en lugares de alta presión, se conocen con el nombre de Anticiclones. Esta última situación, algunas veces es responsable de casos extremos de contaminación local del aire.

Micrometeorológico

Los aspectos que no involucran grandes masas de aire, no debe de pasarse por alto. La circulación local y las variaciones de temperatura en los valles y en las cimas de cerros y montañas son extremadamente importantes desde el punto de vista contaminación del aire; la presencia de construcciones (y con ello la de eddies) y el tipo de cobertura del suelo afectan los movimientos de aire.

c) Movimiento Vertical del Aire

La atmósfera es una capa de aire alrededor de la tierra con un espesor de unas 100 millas, una mitad de su peso está en las cuatro millas más cercanas a la superficie de la tierra, esta parte es la llamada --

Troposfera, y la parte superior se llama Estratosfera, que es una región isotérmica (-51.1 °C (-60 °F) en los polos y - 17.7 °C (-00°F) en el trópicos, donde las nubes de vapor no se forman y donde una pequeña convección (movimiento de aire por diferencia de temperaturas) toma lugar. La atmósfera varía su temperatura de la tierra a la estratosfera, contiene nubes de vapor de agua, hay movimientos de aire causados por diferencia de temperaturas, generalmente mide de 17 a 18.7 kilometros en el ecuador y solo 7.65 kilometros en los polos.

Las propiedades físicas del aire que varían generalmente son la densidad y la humedad.

El cambio de la temperatura del aire con un cambio en presión y en consecuencia con la altitud (tasa adiabática del lapso) es un factor importante en el transporte vertical y dilución de los contaminantes del -- aire. La tasa del lapso de la atmósfera es más grande o más chica que la adiabática. Cuando la tasa es menor que la adiabática, la atmósfera es más estable y el transporte vertical es obstaculizado. Hay dos tipos generales de tasa del lapso negativa o "inversión" y son:

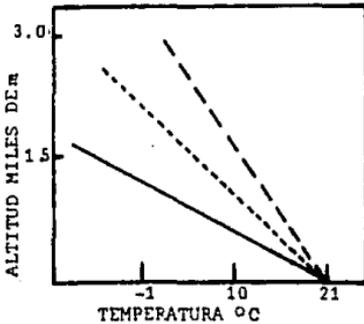
1.- Inversión Radiación

Usualmente ocurre en la noche, la superficie de la tierra se enfría por radiación más rápido que el aire, resultando que el aire cercano al suelo se enfría más rápido que el aire de encima. Se puede observar en las capas de niebla en los valles en las mañanas.

2.- Inversión en Calma

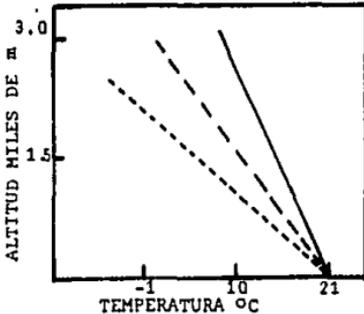
Es causada por movimiento de sumergimiento en áreas de alta presión y generalmente tienen un decrecimiento de humedad sobre la base de la inversión. Puede causarse por aire circulando alrededor de una área estacionaria de alta presión. Cuando el aire desciende, se -- comprime y calienta, resultando que las capas altas se calienten -- más que las bajas. La altura a la que puede presentar varía del -- suelo a 1 524 m, (5,000 ft).

Cuando la temperatura del aire decaese más rápido que la tasa adiabática del lapso, osea que la tasa del lapso es mayor que la adiabática, el --- aire es super adiabático y completamente inestable. En este tipo de aire hay un mezclado vertical substancial del aire y los contaminantes del -- aire son transportados verticalmente y dispersados rápidamente (fig. 2.9)



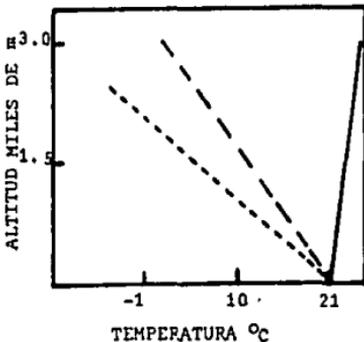
SUPER-ADIABATICA

El gradiente de temperatura ambiente es negativo y su valor absoluto es -- más grande que 0.986 ft/100 m (5.5 - °F/1000 ft). La turbulencia es aumen-- tada y el aire es inestable.



SUB-ADIABATICA

El gradiente de temperatura ambiente es negativa, su valor absoluto es -- menor a 0.547 °C/100 m (3.0°F/1000ft). La turbulencia es disminuida y el -- aire tiende a ser estable.



INVERSION

El gradiente de temperatura ambiente es positivo. La turbulencia es casi suprimida com-- pletamente y el aire es muy estable.

Fig. 2.9 Condiciones Atmosféricas.

d) Velocidad y Dirección del Viento

La importancia de la dirección y velocidad del viento en la dispersión de los contaminantes es obvia, pero las variaciones de estos dos parametros con el tiempo del día y con la estación del año son un gran factor. Estas variaciones son comparativamente constantes en una localización dada y son consideraciones importantes en la localización de la planta y el grado de control necesario para las emisiones de los contaminantes del aire. Las variaciones en velocidad y dirección son representadas gráficamente en la forma de la " Rosa de los Vientos " del período de tiempo.(ver figura 2.10).

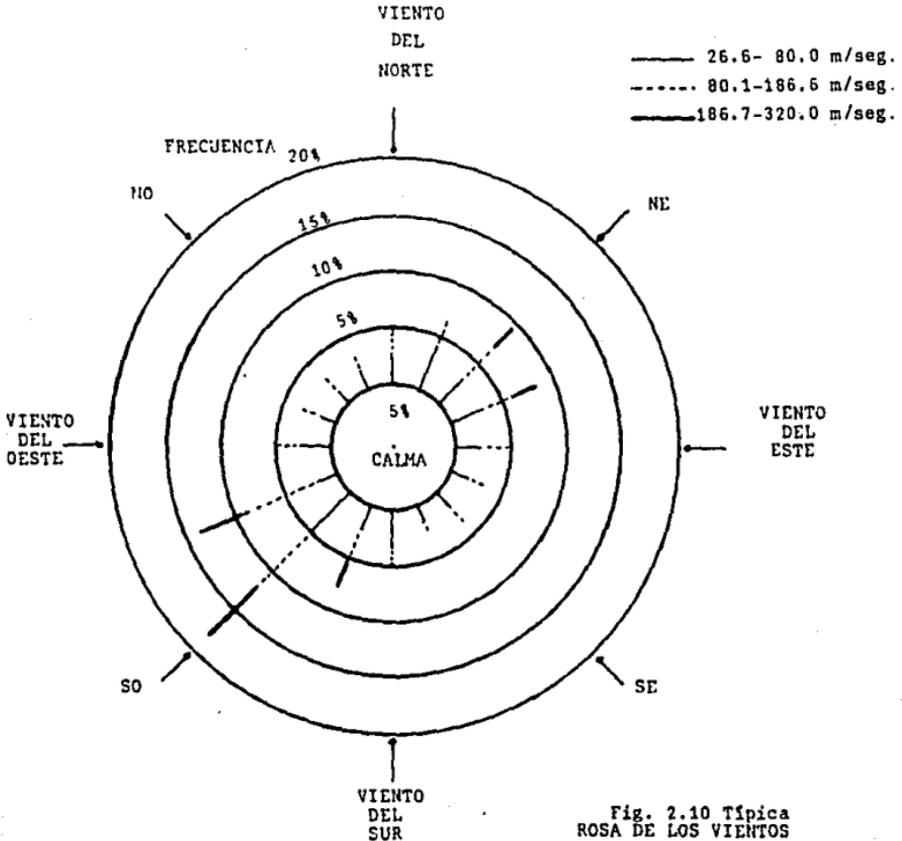


Fig. 2.10 Típica ROSA DE LOS VIENTOS

El aumento en la velocidad del viento por lo general como ya se mencionó permite incrementar la distancia a la que se encontrará la máxima concentración al nivel del suelo y por ello la cantidad de aire involucrada en la dispersión de los contaminantes es mayor. Sin embargo también hay que tomar en cuenta el grado de estabilidad del aire, ya que la turbulencia será la que finalmente difunde los contaminantes.

Básicamente la concentración máxima al nivel del suelo se presenta a una velocidad del viento intermedia, a la cual el balance es alcanzado entre la dilución debida a la velocidad del viento, y el efecto de la altura de emisión. Esta crítica velocidad del viento varía con la estabilidad, y para poder determinarse, la relación de la altura efectiva de la chimenea en función de la velocidad del viento debe ser establecida primero.

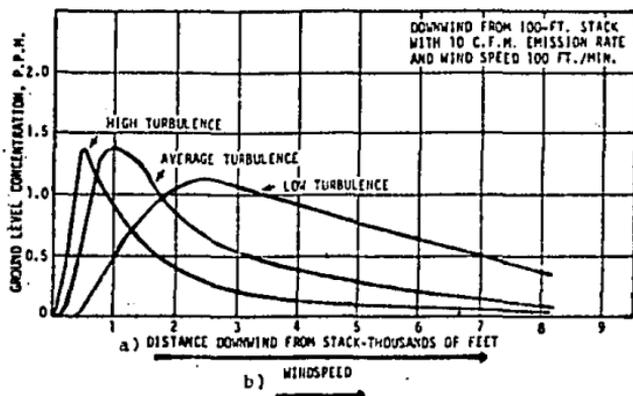


Figura 2.11 Efecto en la Concentración a nivel del suelo de:
a) La estabilidad atmosférica y la distancia desde la chimenea y b) La velocidad del viento.

Para los cálculos matemáticos se toma generalmente la velocidad que prevalece a través de la pluma, aunque por la compleja interacción de fuerzas es imposible representar perfiles exactos de velocidad en el tiempo mediante expresiones analíticas simples, sin embargo son estas las que generalmente se emplean.

e) Composición del Aire

Más que un factor que influya en la contaminación, es un parametro de referencia ya que como sabemos el aire sirve de fuente de oxígeno, medio de depósito de desechos, filtro de la radiación solar, medio de transporte de calor y medio de transporte de agua. Por ello es necesario conocer su composición natural para que cualquier desviación de esta sea detectada y corregida lo mejor posible.

La composición del aire atmosférico es:

C O N C E N T R A C I O N

GAS	PORCENTAJE	PPM
Nitrógeno	78.084	780,840
Oxígeno	20.946	209,460
Argón	0.934	9,340
Dioxido de Carbón	0.033	330
Neón		18
Helio		5
Metano		2

En adición a los gases de la tabla existen vapor de agua, ozono, dioxido de azufre, oxido de nitrógeno, oxido nítrico, monóxido de carbono y otros gases y vapores presentes en cantidades variables.

f) La estabilidad del ambiente.

La cantidad de turbulencia en el aire es uno de los factores que eleva las plumas de humos y las dispersa por difusión. La cantidad de turbulencia puede categorizarse en incrementos llamados "Clases de estabilidad". Las más usadas son las de "Pasquill" (A,B,C,D,E,F), la A denota la más inestable y el aire más turbulento, y la clase F denota la más estable y de menor turbulencia.

La turbulencia es resultado de muchos factores como: flujo del viento sobre el terreno, migración de altas a bajas presiones, turbulencia térmica del aire caliente, etc.

Cualquier factor que mejore el movimiento vertical del aire, incrementa la turbulencia. La diferencia entre la tasa seca adiabática del lapso y el gradiente de temperatura del ambiente provee un indicador directo del movimiento vertical del aire.

Los gradientes de temperatura del aire ambiental pueden usarse para categorizar las clases de estabilidad, por que tenemos las siguientes:

Super-adiabática.- Cuando la temperatura del aire es más grande que la de los alrededores y por lo tanto su densidad es menor, el aire continúa subiendo debido a la turbulencia o inestabilidad. Esto se presenta con gradiente de temperatura ambiental mayor que la tasa seca adiabática del lapso, ejemplo: $-1.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, ($-10^{\circ}\text{F}/1000\text{ ft}$) (fig. 2.12).

Sub-adiabática.- Cuando el gradiente de temperatura es menor a la tasa seca adiabática del lapso, ejemplo: $-0.73^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, ($-4^{\circ}\text{F}/1000\text{ ft}$). El aire se mueve por un cambio de temperatura a una altura mayor, -- llegando a una menor temperatura aunque a igual presión, lo que provoca que sea más pesado y caiga más abajo de donde originalmente estaba. Creandose una disminución de la turbulencia y tendiendo a la condición de estabilidad (fig. 2.12).

Inversión.- Cuando la diferencia entre el gradiente de temperatura ambiente y la tasa adiabática del lapso (seca o humedad) es muy grande -- se suprime completamente el movimiento vertical del aire. Lo cual crea mucha estabilidad (fig. 2.12).

Neutral.- Si el gradiente de temperatura ambiente es esencialmente igual a la tasa adiabática del lapso, el elevamiento o hundimiento, el calentamiento o enfriamiento se realizan a la misma tasa que el aire de los alrededores, lo cual ni mejora ni apaga el movimiento vertical del aire.

La figura muestra el espectro entero de las condiciones atmosféricas - (desde super-adiabática hasta la inversión), dividido en las Clases de Estabilidad de Pasquill cada clase esta definida por un rango específico del gradiente de temperatura ambiente.

CLASES DE ESTABILIDAD PASQUILL		GRADIENTE DE TEMPERATURA AMBIENTE °C/100 m (°F/1,000 ft)	
A ----	Muy Inestable	Menos de (- 10.4)	-1.89
B ----	Inestable	-1.89(-10.4) para(- 9.3)	-1.69
C ----	Ligeramente Inestable	-1.69(- 9.3) para(- 8.2)	-1.49
D ----	Neutral	-1.49(- 8.2) para(- 2.7)	-0.49
E ----	Estable	-0.49(- 2.7) para(+ 8.2)	1.49
F ----	Estable	Más de (+ 8.2)	1.49

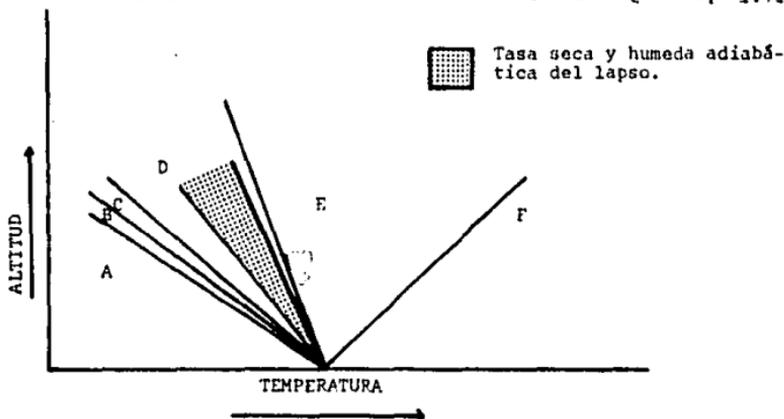


Figura 2.12 Clases de Estabilidad de Pasquill.

g) Tipos y conductas de las plumas.

El amplio rango de formas y la variación de tiempos de las plumas - formadas por los efluentes visibles de la chimenea es evidente. Como sabemos la difusión de las plumas en la atmósfera es función de la estabilidad vertical del aire o turbulencia.

Church clasificó las plumas de humo en cinco tipos, aunque Hewson añadió un sexto tipo. Los tipos de plumas son mostrados en la figura 2.13

La descripción de los tipos es la siguiente:

- Tipo Looping o Zig Zag Vertical.- figura 2.13 (a)
Ocurre cuando el gradiente vertical de temperatura es super-adiabática y el aire es muy turbulento y hay calentamiento solar alto como en estaciones calientes o días claros. La turbulencia generada térmicamente causa una gran cantidad de eddies los cuales llevan la pluma en su totalidad hacia abajo hasta el suelo. El alto grado de turbulencia dispersa rápidamente la pluma pero se presentan altas concentraciones cerca de la chimenea si la pluma alcanza el suelo.
- Tipo Coning o Cónico.- figura 2.13 (b).
Resulta cuando el gradiente vertical de temperatura es sub-adiabático pero menor que el isotérmico. La pluma toma forma de cono y el aire comienza a ser ligeramente inestable con algún mezclado horizontal y vertical. La dispersión es más lenta que en Looping, pero la distancia a la cual el fondo de la pluma toca por primera vez el suelo es más grande. Se presenta generalmente en nublados o períodos de viento moderado.
- Tipo Fanning o Ventilando.- figura 2.13 (c).
Sucede cuando el gradiente vertical de temperatura se incrementa con la altura, o sea es positivo (inversión por arriba y por abajo de la pluma).

La dispersión de la pluma es casi nula verticalmente por lo colmado - del aire, sin embargo si hay una dispersión horizontal.

La pluma raramente alcanza el suelo a menos que la inversión sea rota por superficies calientes o encuentros con colinas. La predicción de - concentraciones en este tipo de pluma es difícil, aunque no deja altas concentraciones en el suelo. En noches claras y con viento ligero es muy probable encontrar este tipo.

- Tipo Lofting o de Elevación.- figura 2.13 (d).

Se presenta cuando una inversión existe sólo por debajo de la pluma y hay una capa super-adiabática sobre la superficie de inversión. Esta condición puede ocurrir en las tardes como una inversión desarrollada por la radiación del suelo. Generalmente no alcanza a tocar la superficie del suelo. Si la altura de la chimenea esta por arriba de la -- inversión ésta condición persistirá, sin embargo si la inversión crece y pasa la altura de la chimenea se cambia a un tipo Fanning.

- Tipo Fumigation o Fumigación.- figura 2.13 (e).

Como el sol calienta el suelo la inversión al nivel superficie es apagada y ocurre un mezclado en la región del gradiente negativo de temperatura. Cuando el aire inestable alcanza la altura de la pluma cae rápidamente, provocando mezclado y una alta concentración de contaminantes a nivel del piso, y por ello la pluma toca el suelo a lo largo de longitud de la pluma y como se mencionó esto es una tasa del lapso super-adiabática por debajo de una inversión. Esta condición es favorecida por noches claras y con viento ligero.

- Tipo Trapping o Atrapado.- figura 2.13 (f).

Este caso se refiere a la condición donde la pluma esta sujeta entre inversiones y sólo se difunde dentro de un límite vertical de altura. La expansión de la pluma es inhibida por el nivel de la inversión -- alta, y la pluma toca por primera vez el suelo lejos de la chimenea. Tal vez estimados de concentraciones a nivel del suelo a unos 10 Kilogramos metros deban considerarse si para esta condición el tope de la pluma alcanzó la capa estable.

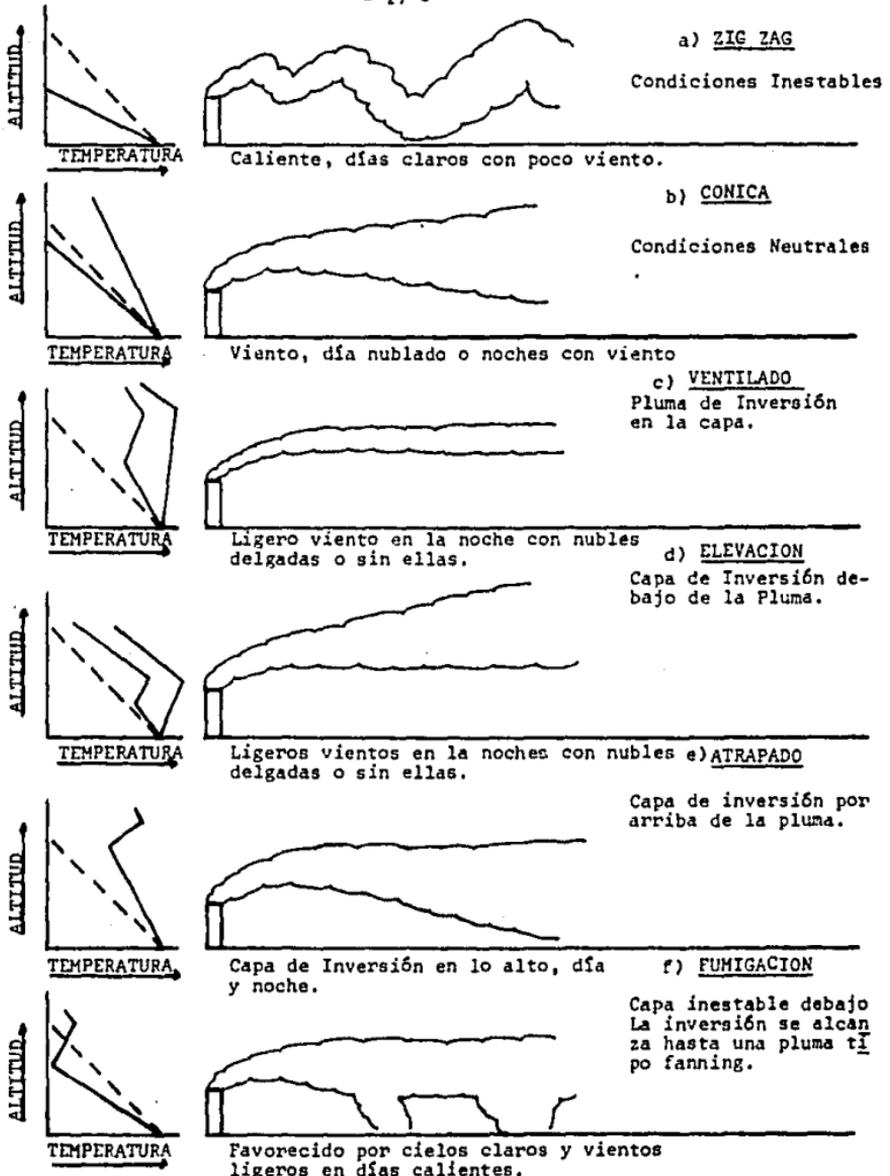


Figura 2.13 Comportamientos de la Pluma.

+ Sensibilidad de las áreas aledañas a la contaminación.

Este es un parametro un tanto cuanto subjetivo, debido a que no es fijado con un valor en especial, sino más bién es determinado por el criterio humano que generalmente esta basado en experimentos de Laboratorio o conocimientos bibliográficos sobre la resistencia de un -- determinado ser animado o inanimado a un cierto material contaminante, ejemplo, que tan sensible o cual es el efecto de una sustancia -- como el CO (monoxido de carbono) en el hombre, en una planta, en un perro, etc.

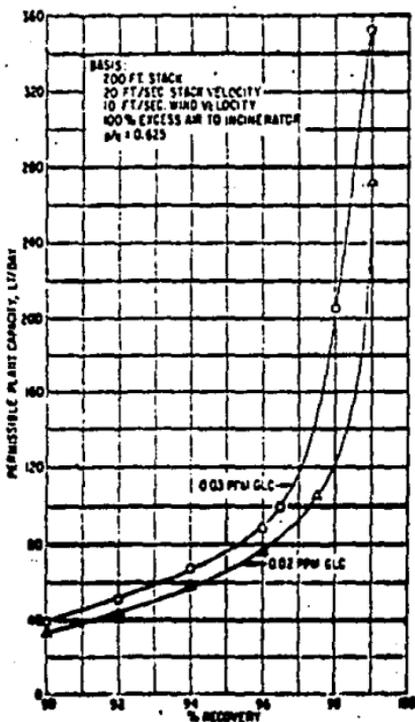
- G L C. (Ground Level Concentration).

Para concluir este capítulo, podemos hablar de la variable sobre la cual actuan directa o indirectamente, todos los factores que anteriormente se describieron. El nivel de contaminación o mejor conocido como "la concentración a nivel del suelo", GLC, y viene a ser el -- punto donde se ven los resultados de todo lo hecho, ya que es definido como la cantidad de material sólido, líquido o gaseoso por unidad de volumen de aire de cero a dos metros sobre el suelo.

Por lo general los gobiernos estatales o de los países establecen un valor del GLC, como límite máximo permisible para cada sustancia, y aquellas fabricas o plantas que descargen una determinada sustancia deberán de cumplir con el valor correspondiente a la sustancia. Este es el caso del azufre, por lo que para las emisiones de azufre de la mayoría de las plantas recuperadoras se requerirán modificaciones y en el diseño de futuras plantas será un nuevo aspecto a considerar.

Las regulaciones establecidas pueden ser impuestas o controladas de varias maneras, como: las basadas en la concentración del efluente; en la concentración a nivel de suelo o la basada en el flujo másico de la chimenea. La mayoría de estas regulaciones generalmente estan referidas a un lapso, por ejemplo en Estados Unidos Los Estandares Federales de la Calidad del Aire, requieren que el promedio anual -- de la concentración a nivel del suelo sea igual o menor a 0.03 ppm (volumen) o 0.14 ppm para cualquier día del año.

Todos estos niveles se tratan de abatir cada vez más para lograr que exista una menor contaminación, por lo que por ejemplo los niveles antes mencionados se pretenden bajar a 0.02 y 0.10 ppm, en un tiempo razonable. De acuerdo a esto existen gráficas que pueden predecir el tamaño de la planta (cantidad de contaminantes implícitos), a una determinada eficiencia, con el límite a cumplir. ejemplo figura 2.14.



14 El porcentaje de recuperación de la planta tiene un marcado efecto en el posible tamaño de la planta, que este bajo los valores permisibles del GLC.

Otros aspectos que se controlan son la detección por olor y el de la sensibilidad al SO_2 de las plantas. Se sabe que para el azufre a 0.7 ppm la sensibilidad no es dañada y que entre 0.045 y 0.3 ppm varía la detección por olor, todo esto nos lleva a una conclusión.

Como podemos ver, el conocimiento de todos los parámetros presentados en el capítulo son de gran importancia para que el ingeniero en diseño y el operador de planta tengan un buen entendimiento de la situación, pudiendo así diseñar los controles más efectivos y operar las plantas más adecuadamente conforme lo estipulado en las regulaciones respectivas.

CAPITULO III

DESCRIPCION DE LOS MODELOS MATEMATICOS

Conocemos la necesidad de preservar los recursos del aire y el agua del medio ambiente en que vivimos, para poder lograr esto necesitamos comprender la dinámica de su contaminación y posteriormente desarrollar las estrategias para reducir al máximo la contaminación de un área específica en estudio. Para lograr esta comprensión, se requiere de correlaciones que predigan la dispersión de contaminantes en el aire, que nos permitan comparar los valores obtenidos con las normas o criterios de calidad del aire de tipo particular de la empresa o del gobierno del país en sus distintas dependencias. Estas por lo general son ecuaciones derivadas de una ecuación de cambio - que describe un transporte de masa o de un balance macroscópico.

El desarrollo de los modelos matemáticos para predecir la distribución espacial de contaminantes en la atmósfera no es una actividad reciente, sus orígenes se presentan con la necesidad de poder predecir la dispersión de los gases venenosos que fueron empleados en la Primera Guerra Mundial.

Desde los lejanos tiempos antes mencionados hasta nuestros días, numerosos autores han publicado diversas técnicas, métodos y estudios en general, relativos a este tipo de modelos y se puede decir que - la mayoría de dichos trabajos consisten en diferentes soluciones -- matemáticas a la ecuación general de la difusión ó 2o. ley de Fick.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla^2 DC - \nabla u C - R$$

Acumulación

Difusión

Variación de
la masa de -
aire.

Reacción

Esta ecuación describe la difusión de gases o partículas dispersadas bajo la influencia de una turbulencia atmosférica homogénea y al azar, en presencia de una velocidad del viento constante, etc. Sin embargo, en el desarrollo de los modelos mencionados es extremadamente difícil tomar en cuenta todos los parámetros atmosféricos que intervienen en la difusión de un contaminante.

En la actualidad los modelos más empleados están basados en la teoría -- matemática con correcciones empíricas aplicadas en forma de coeficientes de difusión, para uno de los contaminantes en estudio. El método más preciso para obtener los parámetros de difusión es por determinación directa del contaminante en estudio en el área específica y la aplicación del resultado obtenido al modelo más apropiado. Sin embargo los estudios de -- éste tipo son demasiado costosos y prolongados por la gran cantidad de -- variables meteorológicas. Algunos investigadores han logrado relacionar los parámetros obtenidos con las variables meteorológicas, lo que permite clasificar estas condiciones con sus respectivos coeficientes de difusión para algunos contaminantes.

En estudios publicados en literatura reciente se pueden encontrar modelos matemáticos desarrollados simultáneamente con sus correspondientes -- coeficientes de difusión, o bien coeficientes desarrollados para modelos ya existentes y aun aplicación de coeficientes desarrollados a modelos -- ya existentes.

Los modelos matemáticos pueden ser utilizados para calcular y predecir -- la distribución de contaminantes en la atmósfera para unas condiciones -- dadas, e incluso para predecir la concentración máxima del contaminante -- y el punto en el espacio en que se obtiene dicha concentración, pero por sí solos no pueden predecir la frecuencia, es decir, no muestran como va -- ría la concentración en un punto dado conforme pasa el tiempo.

Es importante recalcar que la confiabilidad de los datos obtenidos por -- la aplicación de estos modelos se encuentra alrededor de distancias de -- 15 Km como máximo.

Hasta ahora sólo se han mencionado las debilidades de estos modelos, por lo que es necesario puntualizar algunas de las aplicaciones de estos, -- las cuales son bastante efectivas. A continuación nombraremos algunas:

- a) Predecir la distribución de contaminantes producida por una fuente -- contaminadora específica en un área de estudio y poder comparar con normas o criterios de calidad del aire.
- b) Estimación de la cantidad más probable de contaminantes que podrá emitir una nueva fuente contaminadora en un área determinada.
- c) Evaluación de estrategias propuestas para la disminución de la contaminación producida por fuentes productoras. Desde el punto de vista -- económico, lo anterior es muy importante, ya que se pueden simular -- los diferentes sistemas propuestos, antes de realizar grandes erogaciones en equipos e instalaciones y así seleccionar aquellos que produzcan los mejores resultados.
- d) Evaluación de distintos dispositivos como: filtros precipitadores; -- quemadores de combustible; quemadores de desechos y basura; reactores catalíticos de automóviles, etc.
- e) Cálculo de alturas óptimas de chimeneas, prediseñar los quemadores, -- etc.

Ya habiendo descrito en forma general lo que es un modelo matemático y -- cuales son sus alcances y limitaciones relacionaremos los modelos más -- usados internacionalmente, aunque sabemos que existen otros modelos que incluyen variaciones más específicas a una situación en especial o cuyo uso no ha sido recomendado.

ECUACION

OBSERVACIONES

1.- CLASICA

Fuente Puntual:

$$C = \frac{Q}{4\pi R \sqrt{D_z D_x}} \exp \left[-\frac{u y^2}{4 D_y X} - \frac{u z^2}{4 D_z X} \right]$$

Fuente de Línea:

$$C = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} D_z R} \exp \left[-\frac{u z^2}{4 D_z X} \right]$$

Es la única solución verdadera para el estado límite. $R \cong X$ para las situaciones más prácticas. Satisfactoria a menos de 910 metros.

ECUACION

OBSERVACIONES

2.- SUTTON

Fuente Puntual:

$$C = \frac{2Q}{\pi C_y C_z U X^{2-n}} \exp \left[-X^{n-1} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right]$$

Fuente de Línea:

$$C = \frac{2Q}{\sqrt{\pi} C_z U X^{1-n/2}} \exp \left[-X^{n-2} \left(\frac{z^2}{C_z^2} \right) \right]$$

Frecuentemente usado. Confiante a casi 910 metros. No es una verdadera solución de la ecuación de -- Fick. La constante empírica n es considerada una -- función del gradiente de la temperatura atmosférica (n=1/4 para condiciones neutrales, 1/5 para -- un lapso fuerte y 1/2 para una fuerte inversión).

3.- BOSANQUET-PEARSON

Fuente Puntual:

$$C = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} U p q x^2} \exp \left[-\frac{y^2}{2q^2 x^2} - \frac{h}{px} \right]$$

Fuente de Línea:

* No es aplicable.

No es una solución verdadera de la ley de Fick. -- Esta derivada para el uso con chimeneas de altura -- "h".

ECUACION

OBSERVACIONES

4.- SUTTON MODIFICADA

Fuente Puntual:

$$C = \frac{Q}{2\pi C_y C_z u X^{n_x+n_z}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{C_y^2 X^{2n_y}} + \frac{z^2}{C_z^2 X^{2n_z}} \right) \right]$$

Fuente de Línea:

$$C = \frac{Q}{\sqrt{\pi} C_z u X^{n_x+n_y}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z^2}{C_z^2 X^{2n_z}} \right) \right]$$

Modelo de cuatro constantes. No es una solución verdadera de la ley de Fick. Es la más adaptable porque las constantes abarcan muchas variables.

5.- PASQUILL-GIFFORD

Fuente Puntual:

$$C = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-Hk}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+Hk}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\}$$

Fuente de Línea:

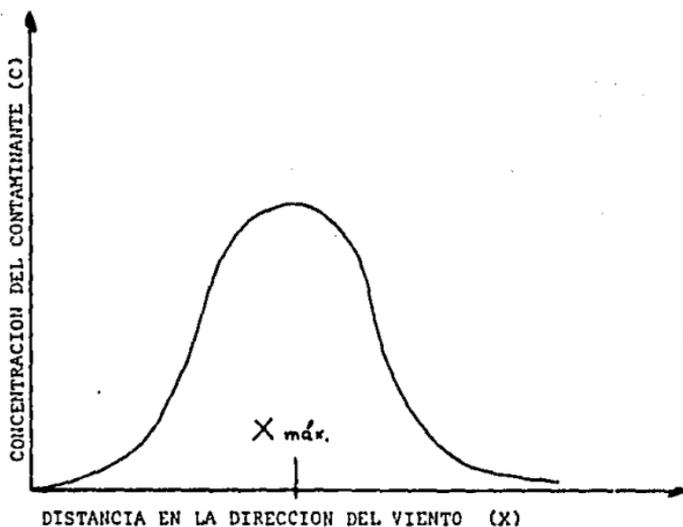
* No es aplicable.

Predice una distribución Gaussiana.

NOTA: Estas relaciones no son aplicables en partículas difundidas que presentan deposición.

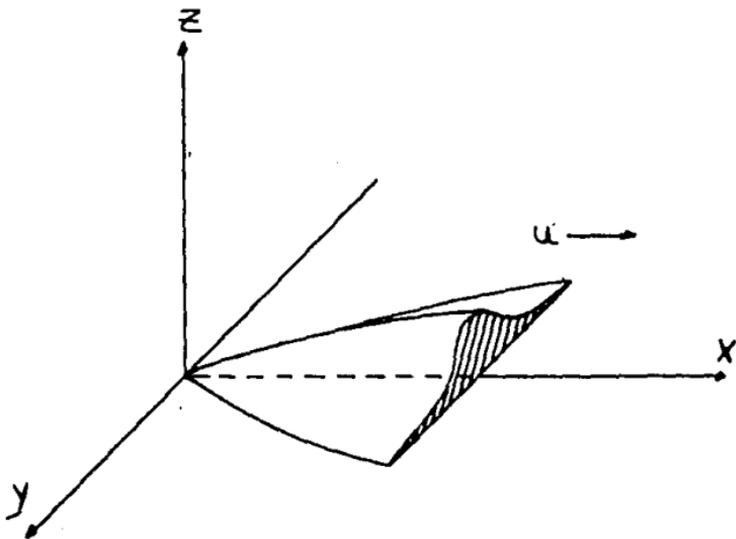
Montgomery y Corn han realizado una comparación de las anteriores relaciones y encontraron que la ecuación de Sutton Modificada fue confiable en un 94 % en el tiempo y la de Bonsanquet-Pearson fue confiable en 90 % en el tiempo.

Un rasgo común de los modelos antes presentados, es que todos predicen la concentración máxima a nivel del suelo a cierta distancia en dirección -- del viento. Todos generan curvas cuya forma general es como la mostrada -- en la figura 3.1.



3.1 Al graficar los datos generados por los modelos matemáticos de simulación de la Difusión se genera una campana de Gauss.

Las relaciones pueden ser usadas para correlacionar los datos de campo por medio de un plano lineal en coordenadas semilogarítmicas, si los datos son tomados a $Y=0$, por ejemplo en dirección del viento tenemos - la figura 3.2.



3.2 Representación de la emisión en los tres planos dimensionales.

En fuentes puntuales las coordenadas serían para las primeras cinco relaciones.

<u>FORMULA</u>	<u>ORDENADA</u>	<u>ABSCISA</u>
1	CX	z^2/x
2	CX^{2-n}	z^2/x^{2-n}
3	CX^2	z/x
4	CX^2	z^2/x^2
5	CX^{nz+ny}	z^2/x^{2n}

Una dificultad de estas fórmulas es que asumen la velocidad del viento y los valores de difusión como constantes, la cual es una suposición muy simple. Aunque estas se pueden ajustar con ecuaciones logarítmicas o exponenciales como las siguientes:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad u(z) \propto z^{1/2}$$

$$y \quad D_z(z) \propto z^m$$

donde m = índice de estabilidad atmosférica (inversión, neutral o lapso).

Como hemos visto durante el presente capítulo los alcances de los modelos no son del todo precisos, pero sí permiten orientarnos en el complicado proceso de la predicción de concentraciones de contaminantes en el medio ambiente. Además es necesario resaltar el hecho de que, constantemente se realizan investigaciones y pruebas para mejorar los modelos que existen actualmente, por lo que puede esperarse que con la ayuda de los modelos y las computadoras, se logre en un futuro una simulación más completa de cualquier situación de contaminación, que la que ahora se logra.

CAPITULO IV
CALCULO DEL NIVEL DE CONTAMINACION CON LOS DISTINTOS METODOS
(Aplicación a un caso real)

Como hemos visto en los capítulos anteriores existen numerosas variables que intervienen en la difusión de los contaminantes en el aire y además se han desarrollado modelos matemáticos que permiten predecir dicha difusión, pero para poder comprender mejor esto tendremos que -- realizar algunos cálculos con los modelos escogidos. en tres alturas -- efectivas de chimenea distintas y variando en cada caso, la distancia desde la chimenea en la dirección del viento, comenzando a los 5' metros y así ir obteniendo las concentraciones a nivel del suelo para -- cada juego de coordenadas, (altura efectiva, distancia desde la chimenea) generandose una campana de Gauss con las concentraciones la cual nos permite localizar la máxima concentración a una distancia dada y -- comparandola con el dato real de campo.

Para poder realizar lo anterior tenemos que utilizar datos reales de -- alguna planta y por ello se seleccionó la planta recuperadora de Azufre de Pemex en Ciudad Cactus, Chiapas. Estas bases de diseño consisten en algunas condiciones climatológicas, así como algunos balances de -- Materia y Energía que se presentan con mayor detalle en los apéndices B y C, que se encuentran al final de la presente tesis.

Los cálculos para determinar el nivel de contaminación se hicieron por medio de una computadora Hewlett Packard de la Asociación Nacional de -- la Industria Química, A.C., de acuerdo al programa que aparece más adelante.

Listado de Variables.

- A Contador vertical de la matriz C_m (adimensional)
- B Contador horizontal de la matriz C_m (adimensional)
- Q Gasto del contaminante (g/seg)
- Pi π constante del círculo 3.1416 (adimensional)
- U Velocidad promedio del viento (m/seg)
- Y Ancho de la pluma de humos (m)
- Nn Índice de turbulencia (adimensional)
- M Límite inferior de intervalo de X (m)
- N Límite superior del intervalo de X (m)

- I Incremento de X (m)
- D Número de cálculos en cada altura y por cada modelo (adimensional)
- Cm Matriz resultados (ppm)
- S₅ Variable alfanumérica de decisión (letras)
- He Altura física de la chimenea (m)
- Z Altura efectiva de emisión (m)
- X Distancia en la dirección del viento desde la base de la chimenea y a la cual se determina la concentración, (m)
- R Corrección geométrica de X (m)
- D_y Coeficiente de difusión vertical ($m^{0.33/2}$)
- D_z Coeficiente de difusión horizontal ($m^{0.33/2}$)

Variables numéricas para resultados intermedios y comparaciones (varían sus unidades).

C1, C9	C3, C11	C7, C123
C22, C1010	C44, C121	Ca, Cb
C2, C10	C4, C122	C2

- Pp, Qq Parámetros de estabilidad (adimensional)
- Xx Adecuación de X en unidades (Km)
- Yy Adecuación de Y en unidades (Km)
- Zz Adecuación de Z en unidades (Km)
- Ny, Sy Parámetros de estabilidad verticales (adimensional)
- Nz, Sz Parámetros de estabilidad horizontales (adimensional)

ANALISIS DIMENSIONAL DE LOS MODELOS

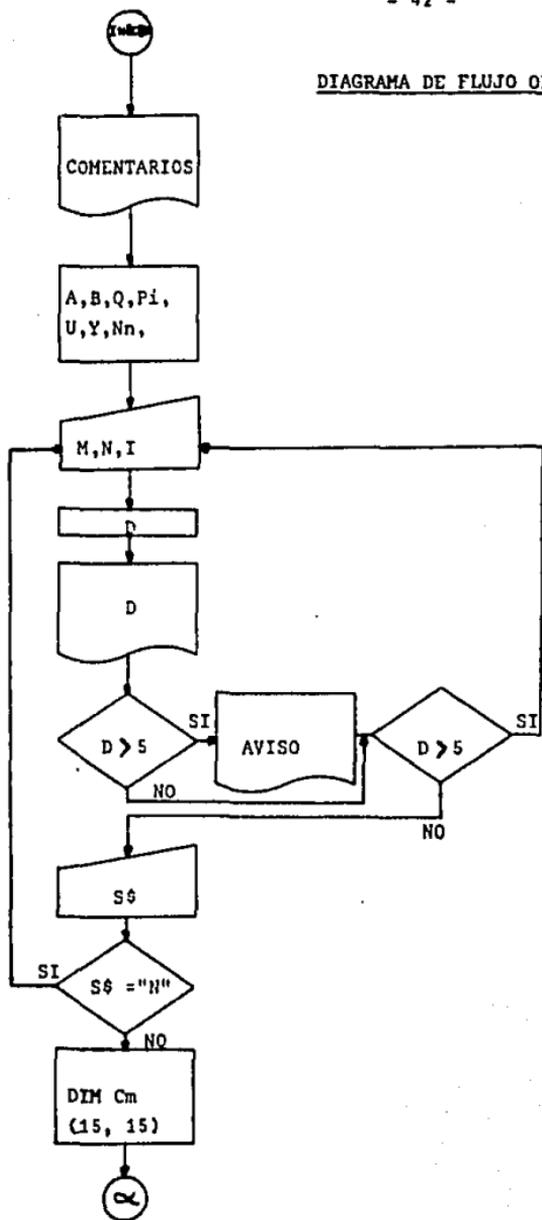
Clásica

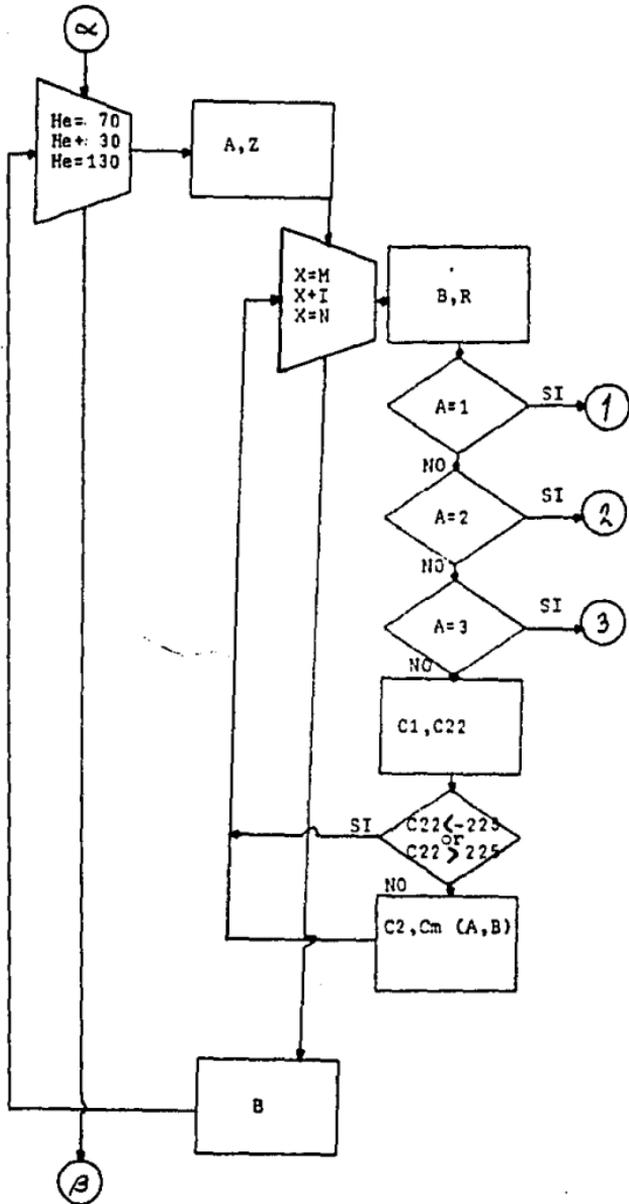
$$1 = \frac{C \cdot X^a \cdot Y^b \cdot Z^c \cdot D^d \cdot S^e \cdot H^f \cdot R^g \cdot D_y^h \cdot D_z^i}{\dots}$$

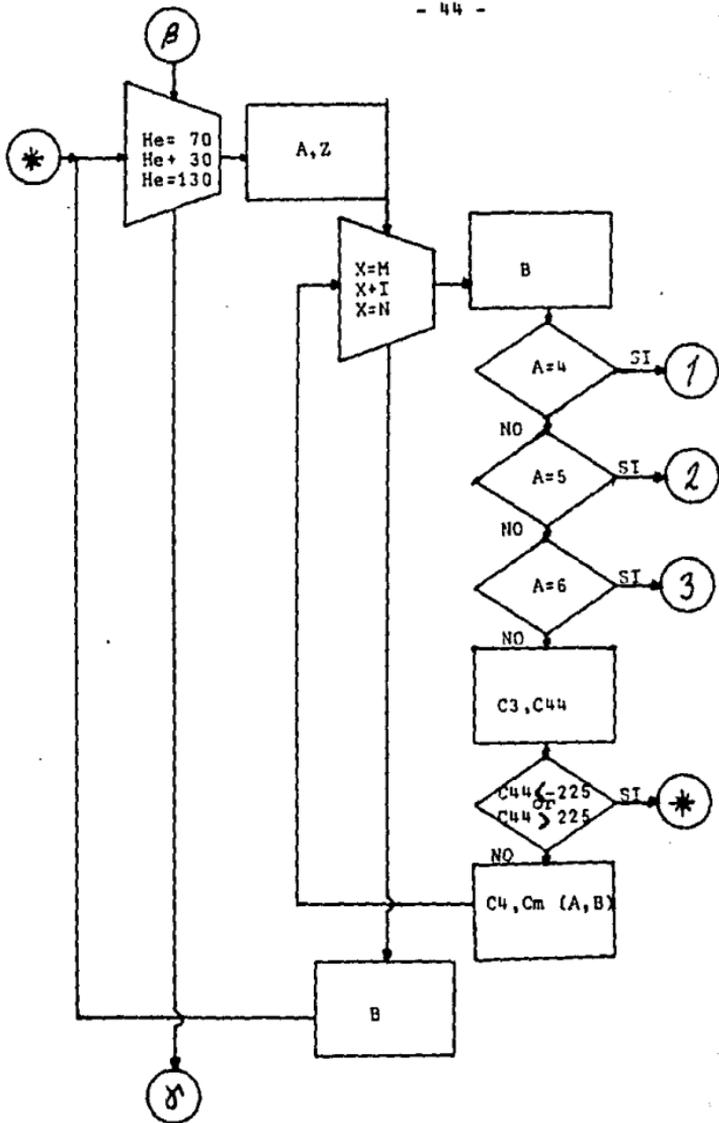
Sutton

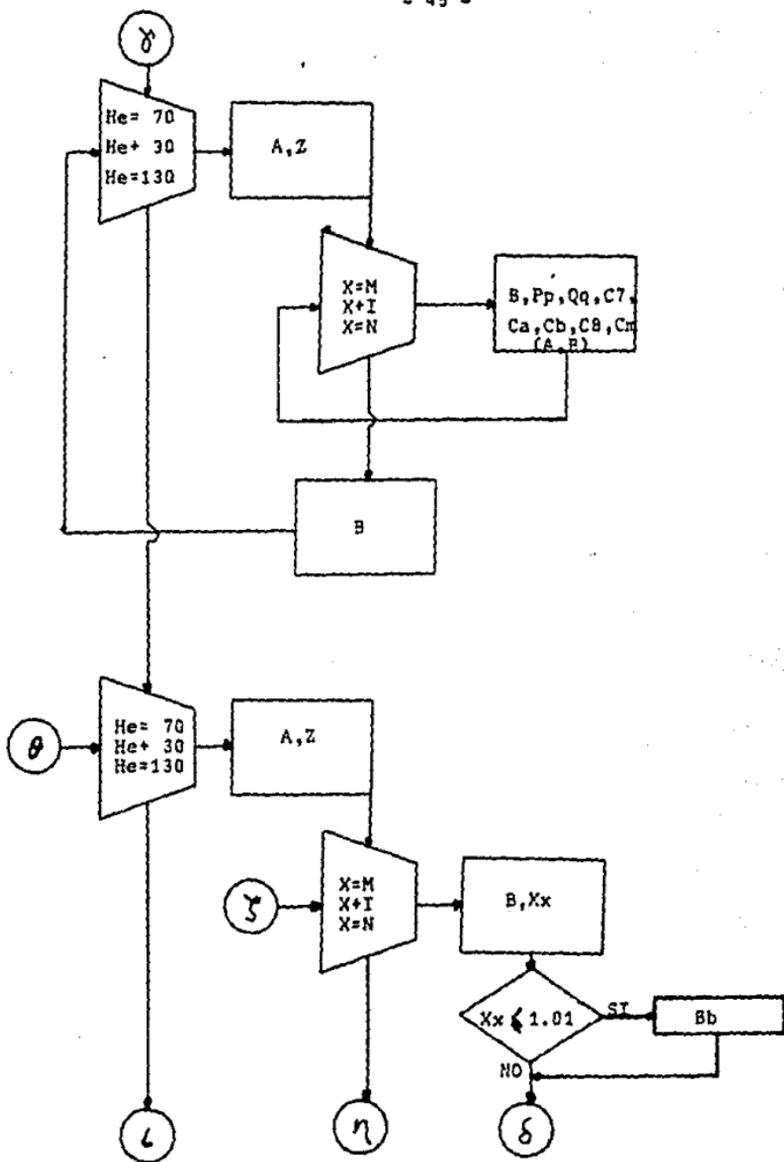
$$1 = \frac{C \cdot X^a \cdot Y^b \cdot Z^c \cdot D^d \cdot S^e \cdot H^f \cdot R^g \cdot D_y^h \cdot D_z^i}{\dots} = \frac{2 \cdot C}{\dots}$$

DIAGRAMA DE FLUJO OPERACIONAL







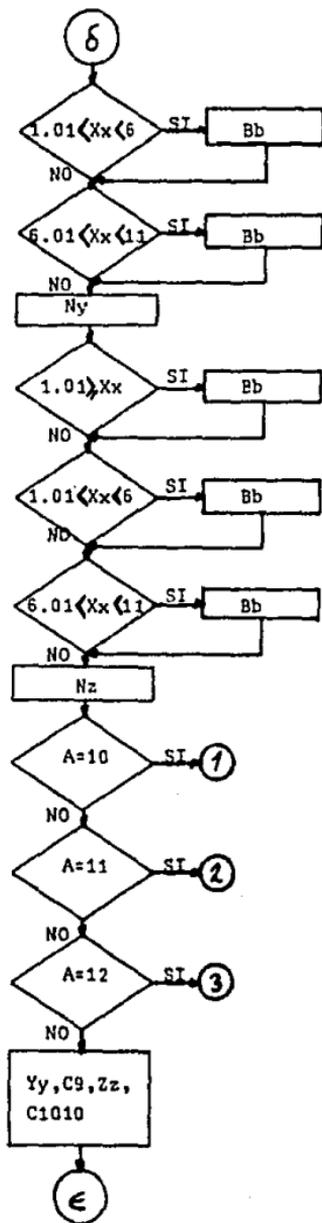


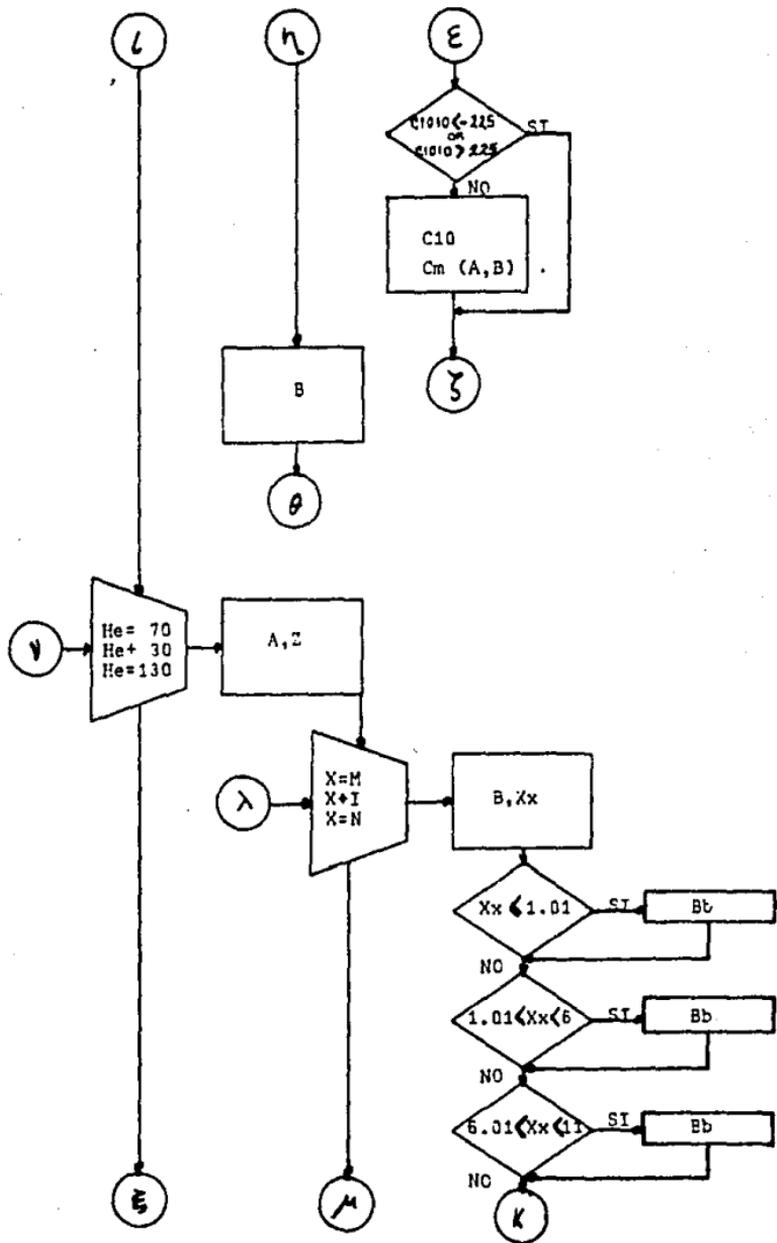
④

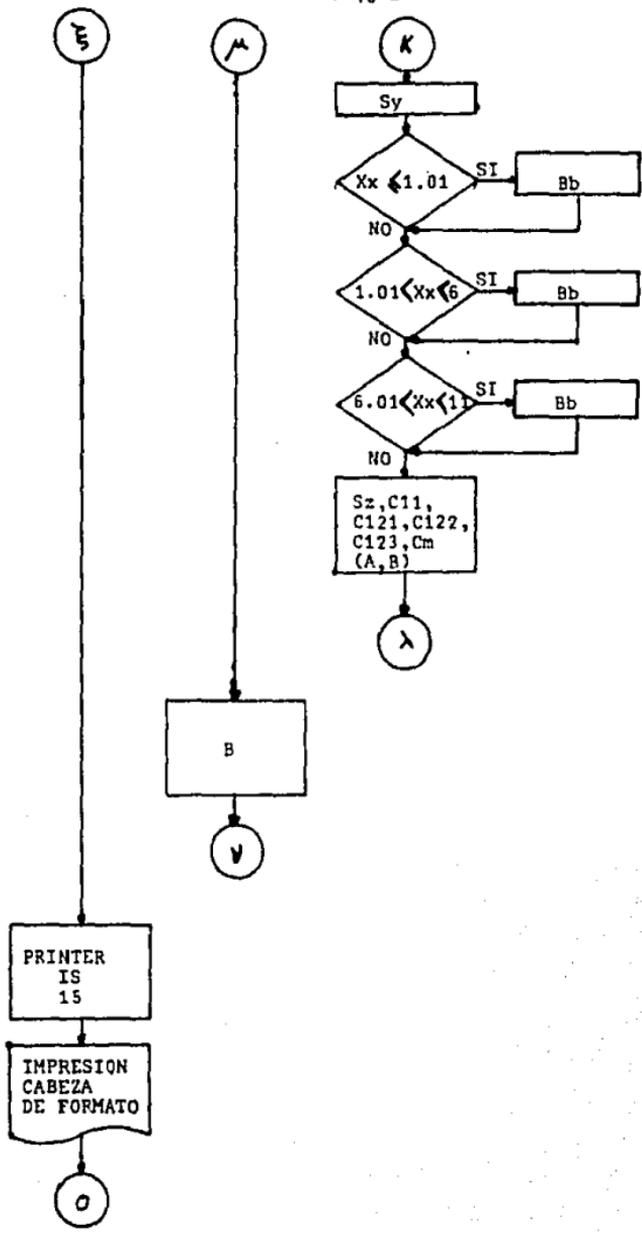
④

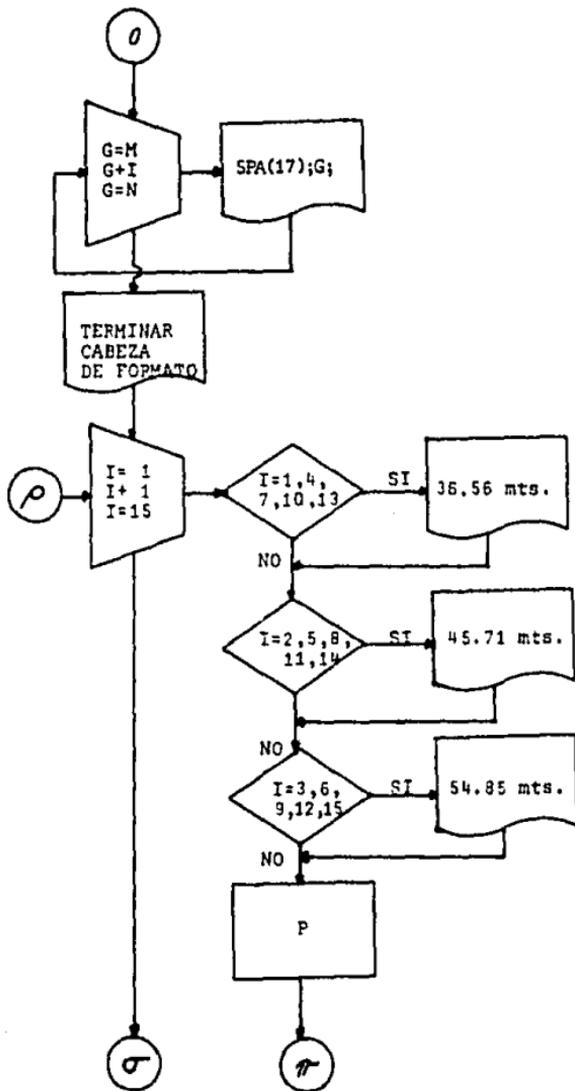
④

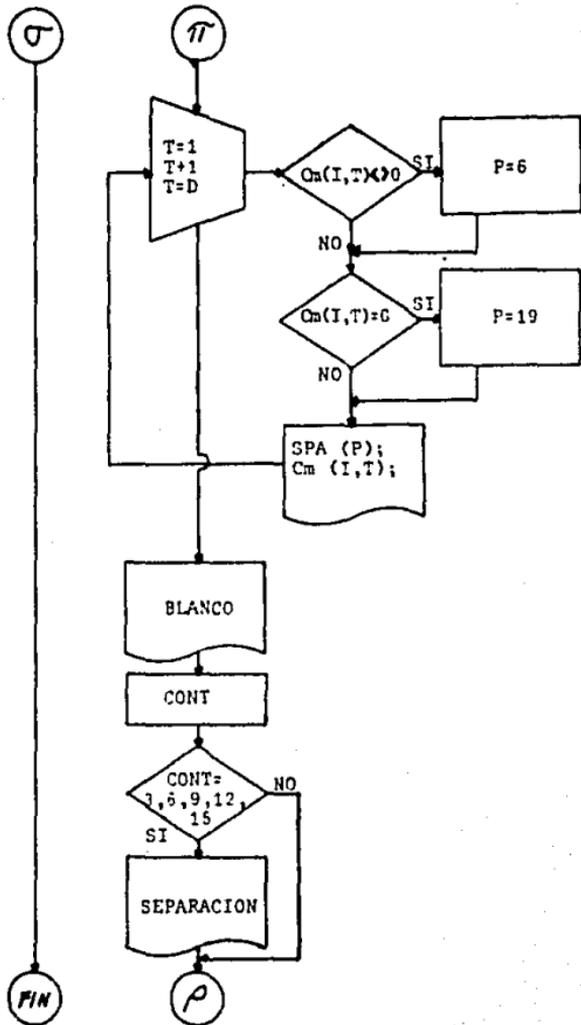
④

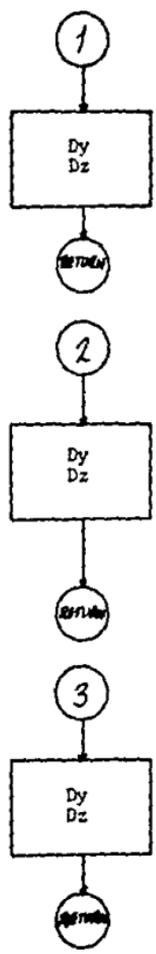












```
110 PRINT 'PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION'
20 PRINT '    MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS '
30 PRINT '*****'
40 PRINT 'ELABORADO POR : JORGE TREVINO AGUIRRE '
50 PRINT 'CARRERA : INGENIERIA QUIMICA '
60 PRINT 'DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA'
70 PRINT 'TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS '
80 PRINT '    MODELOS MATEMATICOS PARA LA '
90 PRINT '    DIFUSION DE CONTAMINANTES EN '
100 PRINT '    EL AIRE '
110 SHORT Cn
120 A=0
130 B=0
140 D=.0737277
150 P1=3.1416
160 U=5.72
170 Y=20
180 M=.33
190 INPUT 'EN QUE INTERVALO DESEAS CALCULAR M,N (INTS):'M,N
200 INPUT 'CON QUE INCREMENTO DE DISTANCIA X (INTS):'I
210 D=INT((N-I)/I+1)
220 PRINT 'EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES:'D
230 IF D<5 THEN DISP 'EL NUMERO MAIOR DE CALCULOS POR TABLA ES DE 5'
240 IF D>5 THEN 190
250 INPUT 'LA DIMENSIONASTE TU MATRIZ (S/N):'S
260 IF S='N' THEN 190
270 : C 1 A S : C A
280 DIM C(10,10)
290 FOR M=70 TO 130 STEP 30
300 A=M-I
310 Z=(4+49.954)*.3049
320 FOR X=A TO H STEP I
330 B=X-I
340 B=SQRT X-Y+Z
350 IF A=1 THEN GOSUB Dv
360 IF A=2 THEN GOSUB Dc
370 IF A=3 THEN GOSUB Dd
380 C1=Z/(400+M*452*(B*Y*Y))
390 C22=(U*Y Z/(400+M*452*(B*Y*Y)))-U*Z Z/(400+M*452*(B*Y*Y))
400 IF (C22<-.225) OR (C22>.225) THEN 430
410 C2=EXP(C22)
420 Ca(A,B)=C1+C2*2*IE6
430 NEXT X
440 B=C
450 NEXT M
460 : S U T I O N
470 FOR H=70 TO 130 STEP 30
480 A=H-I
490 Z=(4+49.954)*.3049
500 FOR X=A TO H STEP I
```

```
510 B=911
520 IF A=4 THEN GOSUB Dy
530 IF A=5 THEN GOSUB Dz
540 IF A=6 THEN GOSUB Dd
550 C3=2*QD/(PI*By*By*By*ByX (2-M))
560 C44=-X (Mn-2)*I 2/Dy 2+Z 2/Dz 2)
570 IF (C44<-225) OR (C44>225) THEN 600
580 C4=EXP(C44)
590 Ca(A,B)=C3+C4*1E6
600 NEXT X
610 B=0
620 NEXT M#
630 I B O N S A N Q U E T - P E A R S O N
640 FOR M=70 TO 130 STEP 30
650 A=A+1
660 Z=(M+49.954)*.3048
670 FOR X=N TO M STEP I
680 B=B+1
690 Pp=.1
700 Qq=.16
710 C7=Q/(1+(2*P1) ,5*U*Pp*Qq*X 2)
720 Ca=EXP(-.5*(Y/(Qq*X)) 2)
730 Cb=EXP(-.12/(Pp*X))
740 Cb=Ca*Cc
750 Ca(A,B)=C7+Cb*1E6
760 NEXT X
770 B=0
780 NEXT M#
790 I S U T T O N M O D I F I C A D A
800 FOR M=70 TO 130 STEP 30
810 A=A+1
820 Z=(M+49.954)*.3048
830 FOR X=N TO M STEP I
840 B=B+1
850 Xx=X/1000
860 IF (Xx<1.01) OR (Xx=1.01) THEN D0=3.87
870 IF (Xx>1.01) AND (Xx<6) THEN D0=23.7
880 IF (Xx>6.01) AND (Xx<11) THEN D0=167
890 My=01.38Xx+9#
900 IF (Xx<1.01) OR (Xx=1.01) THEN D01=2.93
910 IF (Xx>1.01) AND (Xx<6) THEN D01=11.3
920 IF (Xx>6.01) AND (Xx<11) THEN D01=3
930 Nz=49.78Xx+9#1
940 IF A=10 THEN GOSUB Dy
950 IF A=11 THEN GOSUB Dz
960 IF A=12 THEN GOSUB Dd
970 Yy=Y/1000
```

```
980 C9=0/(2*P1+D)*D*2*U1*X (HyKz)
990 Zz=Z/1000
1000 C1010=-.5*11*Z/(Rz *Xk (2*Hy))12z Z/(Rz *Xk (2*Hy))
1010 IF (C1010<-225) OR (C1010>225) THEN 1040
1020 C10=EXP(C1010)
1030 C=(A,B)-C9+C10
1040 NEXT X
1050 B=0
1060 NEXT M
1070 T P A S Q U I L L - G I F F O R D
1080 FOR H=70 TO 130 STEP 30
1090 A=H+1
1100 Z=10*H+49,9741x,3049
1110 FOR X=H TO H STEP 1
1120 B=H+1
1130 Xx=K/1000
1140 IF (Xx<1.01) OR (Xx>1.01) THEN B=3.87
1150 IF (Xx>1.01) AND (Xx<1) THEN B=23.7
1160 IF (Xx<1.01) AND (Xx<1) THEN B=167
1170 Sy=91.387x+80
1180 IF (Xx<1.01) OR (Xx>1.01) THEN Y=2.93
1190 IF (Xx<1.01) AND (Xx<1) THEN B=1-11.3
1200 IF (Xx<1.01) AND (Xx<1) THEN B=1+3
1210 Zz=49.744x+90
1220 C11=2/(2*P1+D)*D*2*U1*X
1230 C121=EXP(-.5*(C11/5z) Z)
1240 C122=EXP(-.5*(C12-2)/5z) Z)
1250 C123=EXP(-.5*(C121/5z) Z)
1260 C=(A,B)+C11+C121+(C122+C123)*1E6
1270 NEXT X
1280 B=0
1290 NEXT H
1295 PRINT IS IS
1300 PRINT "*****"
1310 PRINT "A.LURA EFECTIVA  "
1320 PRINT "  DE EMISION  "
1330 PRINT "  (ATS.)  "
1340 FOR G=H TO H STEP 1
1350 PRINT SP1(7)G1
1360 NEXT G
1370 PRINT
1380 PRINT "*****"
1390 FOR I=1 TO 15
1400 IF (I=1) OR (I=4) OR (I=7) OR (I=10) OR (I=13) THEN PRINT "  36.56 ATS  "
1410 IF (I=2) OR (I=5) OR (I=8) OR (I=11) OR (I=14) THEN PRINT "  43.71 ATS  "
1420 IF (I=3) OR (I=6) OR (I=9) OR (I=12) OR (I=15) THEN PRINT "  54.85 ATS  "
1430 P=6
```

CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO
EN LA DIRECCION DEL VIENTO

```
1440 FOR I=1 TO D
1450 IF Call1,T1<0 THEN P=4
1460 IF Call1,T=0 THEN P=19
1470 PRINT SPA(P);Call1,T;
1480 NEXT T
1490 PRINT
1500 Cont=Cont+1
1510 IF (Cont=3) OR (Cont=6) OR (Cont=9) OR (Cont=12) OR (Cont=15) THEN PRINT '#####'
1520 IF (Cont=3) OR (Cont=6) OR (Cont=9) OR (Cont=12) OR (Cont=15) THEN PRINT '#####'
1530 NEXT I
1540 GOTO 1440
1550 D1: D1=.26
1560 D2: D2=.065
1570 RETURN
1580 D1: D1=.24
1590 D2: D2=.06
1600 RETURN
1610 D1: D1=.22
1620 D2: D2=.055
1630 RETURN
1640 END
```

CAPITULO V
ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de los datos se realizó para las condiciones de operación obtenidas a la vista de campo y en base a la corriente 34 del proceso. según el diagrama de flujo de Pemex (ver ref. 1).

Como sabemos la máxima concentración al nivel del piso se genera a la menor altura efectiva de la chimenea. Si recordamos esta altura fue calculada en el apéndice B, Bases de diseño por dos métodos; el de Theodore --- Holland y el de Smith. Reportándose la menor altura efectiva para el caso de Smith, misma que fue la empleada durante los cálculos de la presente tesis. Aclaremos que se presentan tres alturas en los resultados, debido a que se varió a tres casos (36.56 m, 45.71 m y 54.85 m), para observar el efecto de la altura de emisión efectiva en la difusión que tengan los contaminantes.

La otra variable en los cálculos de concentración, es la distancia desde la base de la chimenea y en dirección del viento dominante. Es decir se hacen los cálculos para cada juego de coordenadas, (altura efectiva, distancia desde la chimenea). Esta última variable es fijada en el inicio -- del programa, mediante una solicitud de límites del intervalo del cálculo y un incremento dentro del intervalo, por lo cual los resultados estarán reportados con incrementos variables en la distancia desde la base de la chimenea.

Los niveles máximos permisibles de concentración a nivel del piso, reportados en la bibliografía son:

- | | |
|---|---|
| - Federal Air Quality STDS | 0.03 ppm (vol) promedio anual
0.14 ppm (vol) para cualquier día del año. |
| - Lineamientos para el criterio de evaluación de la calidad del aire SSA. 29 Nov. 1982. | 0.13 ppm máximo de promedio diario |
| - Norma de Seguridad Actual dentro de Pemex. | 40 ppm máximo de exposición en una hora. |

- Manual de operación de Black, Sivals & Bryson, Inc. 10 ppm para trabajar con seguridad 8 horas al día por mes-año. 3 ppm detectadas por el olfato. 6.12 ppm causan irritación. 50-100 ppm máxima concentración permisible para una exposición de 30 a 60 minutos.

- TLVs Threshold limit Valves for Chemical Substances in the Work Enviroment. by ACGIH 1983-84 2 ppm ó 5 mg/m³ en TWA (Time-weight Average)

- Instructivo No. 10 STPS. 1984-85 5 ppm ó 13 mg/m³ en jornadas de 8 horas y semana de 48 horas.

Tenemos que el dato de concentración obtenido a nivel de campo, el cual permitió seleccionar el cálculo de concentración más cercano a la realidad y por tanto el modelo matemático más recomendable es de: 1.288 ppm concentración detectada a una distancia de 490 m desde la chimenea.

De acuerdo a lo anterior se seleccionó de las tablas de resultados anexas en el presente capítulo, el método de Pasquill-Gifford como el método que mayor veracidad presentó, ya que a una distancia de 490 m se encontraron los siguientes valores de concentración, para las tres alturas efectivas empleadas.

↻ He = 36.56 m	C.máxima = 1.2585 ppm
↻ He = 45.71 m	C.máxima = 0.7613 ppm
↻ He = 54.85 m	C.máxima = 0.4119 ppm

Si estos valores, que son los más críticos se ven afectados por el factor de corrección del número real de plantas, obtenido de la siguiente tabla, podremos calcular la exposición real y compararla contra los niveles máximos permisibles de diversos organismos.

FACTORES PARA FUENTES DE CHIMENEAS-MÚLTIPLES

<u>Número de Chimeneas a una altura dada</u>	<u>Factor Multiplicativo</u>
2	1.70
3	2.41
4	3.00
5	3.60
6	4.20
7	4.71
8	5.30
9	5.80
10	6.30

Fuente: Referencia No. 28 de Bibliografía.

Para el caso de las plantas de Cactus tenemos un factor de 6.3, por lo tanto.

He = 36.56 m	Cm = 1.2585 (6.3) = 7.9285 ppm
He = 45.71 m	Cm = 0.7613 (6.3) = 4.7962 ppm
He = 54.85 m	Cm = 0.4119 (6.3) = 2.5950 ppm

Como podemos observar aunque el primer valor cumple dos normas, el segundo cumple mayor número de normas y el tercer valor es el que cumple casi todas excepto el de la Federal Air Quality STDS.

Sin embargo para las condiciones de diseño tendríamos que, las plantas 1 y 2 tienen un nivel máximo de contaminación de 0.31 ppm (vol) por planta y para las plantas 3 a 10 el valor máximo de contaminación de diseño es de 0.36 ppm (vol) por planta. Por lo cual si seguimos el criterio de Theodore-TVA tendríamos una concentración global como sigue:

$C_m \text{ total} = (0.36) (6.3) + (0.31) (1.7) = 2.80 \text{ ppm (vol).}$

Con la que observamos se cumplen gran parte de las normas reportadas.

Para el conocimiento un poco más a detalle sobre la descripción del -
incinerador y la chimenea que se emplearon en el presente trabajo, te
nemos la información del apéndice D.

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
 MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR : JORGE TREVINO AGUADO
 CARRERA : INGENIERIA QUIMICA
 DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA
 TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
 MODELOS MATEMATICOS PARA LA
 DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
 EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES 6
 EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES 5

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	50	100	150	200	250
36.56 MTS	0	0	2.91381981318E-90	2.21761928704E-67	1.12699133487E-53
45.71 MTS	0	0	0	0	1.49748831572E-89
54.85 MTS	0	0	0	0	0
36.56 MTS	0	2.29636726544E-62	3.48161674889E-31	5.42488484683E-19	6.7249339313E-13
45.71 MTS	0	0	7.80031786162E-58	1.89502199728E-35	3.25188227519E-24
54.85 MTS	0	0	0	2.67848701132E-61	5.34070745198E-42
36.56 MTS	3.74894431082E-03	.378968328706	.877395661251	1.05666176673	1.04577668794
45.71 MTS	6.02103623303E-04	.151521547438	.476924426887	.668923658704	.725423143179
54.85 MTS	9.67015626643E-05	6.07233220274E-02	.239240977382	.423464608289	.503203734266
36.56 MTS	0	0	0	0	0
45.71 MTS	0	0	0	0	0
54.85 MTS	0	0	0	0	0
36.56 MTS	2.8440884853E-09	4.10573919771E-04	2.78856794786E-02	.18463473515	.476426725571
45.71 MTS	1.41844759047E-14	1.27662403110E-06	9.50630936159E-04	2.20507850985E-02	9.92317139505E-02
54.85 MTS	4.10053177342E-21	1.05736206043E-09	1.51230868989E-05	1.3240916931E-03	1.45668187594E-02

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR : JORGE FREDY AGUIRRE
CARRERA : INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA
TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AJRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO ES: 3

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	250	300	350	400	450
36.56 MTS	1.12499133409E-53	1.49388901844E-44	4.78332269070E-38	3.55552220085E-33	2.15518734954E-29
45.71 MTS	1.49740031522E-09	1.9205738411E-74	1.15810004940E-63	1.38548237912E-55	2.61809111347E-49
54.85 MTS	0	0	0	8.31524149871E-07	4.57439521310E-77
36.56 MTS	6.7247303113E-13	2.14478141836E-09	3.45312045017E-07	1.04681974207E-05	1.15534263429E-04
45.71 MTS	3.2516822731E-24	1.00997715633E-17	1.30881423318E-13	7.86956873444E-11	7.34745434617E-09
54.85 MTS	5.14070745180E-42	8.08938345298E-31	1.02184593249E-23	4.67440331220E-19	1.77548009690E-15
36.56 MTS	1.04377668794	.942769500942	.881475259628	.762886629387	.674002337144
45.71 MTS	.725423143179	.709821116199	.663407342828	.606898250993	.530128724294
54.85 MTS	.503203734266	.523330392001	.510878632434	.482948216109	.448968364977
36.56 MTS	0	0	0	0	0
45.71 MTS	0	0	0	0	0
54.85 MTS	0	0	0	0	0
36.56 MTS	.476626725371	.78715053198	1.02827872871	1.17709011104	1.24603593669
45.71 MTS	9.92317138505E-02	.244970505024	.417318679887	.574441579018	.694731723205
54.85 MTS	1.45668187594E-02	5.89025300082E-02	.138590664703	.239006751984	.34017194101

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR: JORGE TREVINO AGUILO
CARRERA: INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS: DR. ANTONIO SIERRA
TITULO DE LA TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AREA

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO ES: 5

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (MIS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	450	500	550	600	650
36.56 MTS	2.15518734954E-29	2.26792999157E-26	6.64612918083E-24	7.51340478163E-22	4.07771539513E-20
45.71 MTS	2.61809911367E-49	2.71887826824E-44	3.42465533399E-40	8.87465564061E-37	6.81906210279E-34
54.85 MTS	4.57439221319E-77	2.85920874641E-69	6.77193156775E-63	1.37859709621E-57	4.25228439342E-53
36.56 MTS	1.12534263425E-04	6.6637839452E-04	2.48381432179E-03	6.82455392830E-03	.015054808044
45.71 MTS	7.3474434617E-09	2.68750772062E-07	2.59004463218E-06	1.84047446487E-05	8.48468730371E-05
54.85 MTS	1.77548809769E-15	6.00388522243E-13	5.03695611303E-11	1.58929973362E-09	2.47125882256E-08
36.56 MTS	.674082357144	.594578213276	.529794859047	.472477021877	.423260697941
45.71 MTS	.550128724284	.476870959344	.44864652478	.405889916282	.367716173652
54.85 MTS	.448948304977	.413827968819	.37992767915	.348343518424	.319460760276
36.56 MTS	0	0	0	0	0
45.71 MTS	0	0	0	0	0
54.85 MTS	0	0	0	0	0
36.56 MTS	1.24603293669	1.2571375356	1.23054747973	1.18148282266	1.1204138735
45.71 MTS	.694731723205	.774117631652	.817547200252	.833095353943	.828374986102
54.85 MTS	.34017194101	.427774369152	.496029263385	.543539954479	.572891041386

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
 MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS
 ELABORADO POR I JOAQUIN REYGAZ AGUIRRE
 CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA
 DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA
 TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
 MODELOS MATEMATICOS PARA LA
 DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
 EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO ES: 5

ALTURA EFECTIVA # DE EMISION # (MTS.) #	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	450	700	750	800	850
36.54 MTS #	4.07771339513E-20	1.24374602399E-19	2.39436995670E-17	3.17114053294E-14	3.06749927922E-13
45.71 MTS #	6.81900210279E-34	2.01680294369E-31	2.78014124268E-29	2.04170246722E-27	9.17830586454E-24
54.85 MTS #	4.25228439342E-33	2.97911740779E-47	6.37881839931E-46	5.21402285931E-43	1.92968720232E-40
36.54 MTS #	.615054800044	2.82446216484E-02	4.68788384605E-02	7.08174404597E-02	.099394650989
45.71 MTS #	8.48468730371E-05	3.02472689451E-04	8.34974518497E-04	1.93913000193E-03	3.90818543303E-03
54.85 MTS #	2.4712588256E-08	2.27202503849E-07	1.40175042959E-06	6.35228267694E-06	2.25848137463E-05
36.54 MTS #	.423240497741	.380885040244	.344236760647	.312455140205	.284715192089
45.71 MTS #	.367716173652	.334243251735	.304742689471	.278704960072	.255676477124
54.85 MTS #	.319440740276	.293313044006	.269746671373	.248603910128	.229599483145
36.54 MTS #	0	0	0	0	0
45.71 MTS #	0	0	0	0	0
54.85 MTS #	0	0	0	0	0
36.54 MTS #	1.1204139735	1.05417171513	.987023221972	.921520216089	.859100112014
45.71 MTS #	.828374961602	.809886470217	.78254665693	.750012074012	.714755140405
54.85 MTS #	.572491041336	.586755564987	.58925930401	.58310932623	.570037037904

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR : JORGE INEVIA AGUERO
CARRERA : INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA
TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES: 3

ALTIMETRIA #	DE EMISION #	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO				
		EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
		850	900	950	1000	1050
36.56 MTS #	3.08769922925E-15	2.32705404840E-14	1.41374525251E-13	7.15210108071E-13	3.09318789470E-12	
45.71 MTS #	9.17830586454E-26	2.67118149570E-24	5.43589213720E-23	8.162721466129E-22	9.44731440510E-21	
54.85 MTS #	1.92949220232E-40	3.68930553306E-38	4.04551746204E-36	2.74600461305E-34	1.24146309507E-32	
36.56 MTS #	.097374658969	.13160613232	.166297087908	.202313471032	.238603673697	
45.71 MTS #	3.90818563303E-03	7.04560431480E-03	1.162803531969E-02	.017832572354	2.57539475263E-02	
54.85 MTS #	2.25948137463E-05	6.61682024075E-05	1.65796422448E-04	3.45407715312E-04	7.25534228289E-04	
36.56 MTS #	.284715192089	.260404737151	.239002190276	.220076075467	.203268904321	
45.71 MTS #	.2554764477124	.235247307326	.217070043956	.200844963421	.186315978219	
54.85 MTS #	.229599481165	.212520261572	.197150511145	.183294341488	.17077675113	
36.56 MTS #	0	0	8.93426978233E-16	.102779279974	2.65404478765E-05	
45.71 MTS #	0	0	1.90501602816E-26	.105658289619	3.12571113742E-05	
54.85 MTS #	0	0	3.72382545129E-43	.102149848976	3.71828315590E-05	
36.56 MTS #	.857100112014	.800492084427	.745984459475	.695589208627	.648082412557	
45.71 MTS #	.714755140405	.678530960484	.642495692363	.607394759943	.574719435715	
54.85 MTS #	.570637037906	.554401089358	.535293946787	.514626579101	.499028919894	

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
 MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS
 ELABORADO POR: JORGE TREVINO AGUILO
 CAMERA DE INGENIERIA QUIMICA
 DIRECTOR DE TESIS: ING. ANTONIO SIERRA
 TITULO DE LA TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
 MODELOS MATEMATICOS PARA LA
 DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
 EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO ES: 3

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	1050	1100	1150	1200	1250
34.56 MTS	3.09318789470E-12	1.168480311339E-11	3.92449758112E-11	1.18935580904E-10	3.29300513038E-10
45.71 MTS	9.44731440510E-21	8.73292764176E-20	6.63993647866E-19	4.25561659493E-18	2.34688547312E-17
54.85 MTS	1.24166309507E-32	4.02755312154E-31	9.63058494453E-30	1.75241244959E-28	2.52403671089E-27
34.56 MTS	.238603073897	.274274723318	.308613462181	.341084169014	.37131231878
45.71 MTS	2.57539475263E-02	3.53848556651E-02	4.66284993694E-02	5.93169196631E-02	7.3221652421E-02
54.85 MTS	7.25534228289E-04	1.31872117283E-03	2.22643212353E-03	3.53146741110E-03	5.31131941092E-03
34.56 MTS	.203268904321	.18828155471	.174870214108	.162821409901	.151940807163
45.71 MTS	.186315978219	.173264564884	.161504179509	.150875343379	.141241422136
54.85 MTS	.17077695113	.159483946904	.149159764752	.139805749473	.131278187447
34.56 MTS	2.66404478765E-05	4.66084975754E-09	6.50640646924E-13	7.29893948037E-17	8.62282505219E-21
45.71 MTS	3.12571113742E-05	5.47002256791E-09	7.63599992073E-13	8.54611647352E-17	7.77238634598E-21
54.85 MTS	3.71828315590E-05	6.50977424291E-09	9.08746026012E-13	1.01943845470E-16	9.24978209749E-21
34.56 MTS	.490892412557	.461597535614	.434604846887	.409721240284	.384755380653
45.71 MTS	.44719435715	.423412503396	.401113832334	.380237543919	.360711091735
54.85 MTS	.399829919894	.381002427922	.363666651332	.347045635713	.331247140114

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
 MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR: JORGE THEVIRAO AGUIAO
 CARRERA: INGENIERIA QUIMICA
 DIRECTOR DE TESIS: ING. ANTONIO SIERRA
 TITULO DE LA TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
 MODELOS MATEMATICOS PARA LA
 DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
 EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO ES 5

ALTIMETRIA DE EMISION (MIS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO			
	1250	1300	1350	1400
36.56 MTS	3.29300513059E-10	8.41749528430E-10	2.00429219523E-09	4.47772980521E-09
45.71 MTS	2.34688547312E-17	1.13321207048E-16	4.86247623436E-16	1.87770789679E-15
54.85 MTS	2.52403471059E-27	2.95646623639E-26	2.80183329065E-25	2.38426043609E-24
36.56 MTS	.37131231878	.399061641424	.424209253726	.446721744756
45.71 MTS	7.32321452421E-02	8.81270899333E-02	1.03743591274	1.19827242709
54.85 MTS	5.31131941092E-03	7.43212340154E-03	1.05441172438E-02	1.40789112505E-02
36.56 MTS	.151960807163	.142137409871	.133230434813	.125125613315
45.71 MTS	.141241422136	.132482050297	.124505126059	.117214276501
54.85 MTS	.131278187447	.123484439802	.1143512409	.109803188495
36.56 MTS	4.62262505219E-21	4.87018202326E-22	2.92287727014E-29	1.47072246124E-33
45.71 MTS	7.7228634599E-21	5.73917155700E-25	3.46903040732E-29	1.75404232453E-33
54.85 MTS	9.24978209769E-21	6.83008994046E-25	4.12845669309E-29	2.05415681611E-33
36.56 MTS	.38675388053	.365336403888	.345914820588	.327742042491
45.71 MTS	.360711093735	.342456071533	.325392177023	.30943983573
54.85 MTS	.331247140116	.3167125848938	.301953697779	.288431428958
				.310891506516
				.29421997687
				.27567974098

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR : JORGE THEVIZO AGUIAO

CARRERA : INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA

TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO ES : 5

ALTIMA EFECTIVA DE EMISION (MTS.)		CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
		1250	1300	1350	1400	1450
34.56	MTS	3.29300713058E-10	8.41749528630E-10	2.00429219523E-09	4.47972960521E-09	9.46058749517E-09
45.71	MTS	2.34688547317E-17	1.13321207048E-16	4.86247623434E-16	1.877287879679E-15	6.59829504808E-15
54.85	MTS	2.52403671059E-27	2.95446623639E-26	2.08183329065E-25	2.38426045609E-24	1.70299746255E-23
36.56	MIS	.37131231878	.399061641424	.424209253726	.446721744756	.466433746935
45.71	MTS	7.32321652421E-02	8.81279899333E-02	.103743591274	.119827242709	.136138092144
54.85	MTS	5.311319141092E-03	7.63212340154E-03	1.05441172438E-02	1.40789112505E-02	1.82485462202E-02
36.56	MTS	.151960807163	.142139490871	.133230434813	.125123613315	.117732025094
45.71	MTS	.141241422136	.132485050257	.124505126059	.117214296501	.110534855404
54.85	MTS	.131278187447	.123486439682	.1163512409	.109803188475	.103781417256
36.56	MTS	6.62262505219E-21	4.89018202742E-20	2.95297727014E-29	1.47672766124E-33	6.05548324084E-38
45.71	MTS	7.77238634598E-21	5.73917155708E-20	3.48905040332E-29	1.72404232465E-33	7.10701713685E-38
54.85	MTS	9.24978209765E-21	6.83909874066E-20	4.1284568309E-29	2.05415681611E-33	8.45293774963E-38
36.56	MTS	.386755388053	.385539603888	.342914820588	.327742942491	.310891506516
45.71	MTS	.360711093735	.342454071553	.325392177022	.30943965573	.294521997687
54.85	MTS	.331247140116	.316212584938	.301953697779	.288451428956	.275679574098

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MERIANTE MODELOS MATEMATICOS

#####

ELABORADO POR : JORGE FREVINO AGUILO

CARRERA : INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA

TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AIKE.

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES: 3

#####

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (MTS.)	A	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
		1450	1500	1550	1600	1650
36.56 MTS	#	9.46058789517E-09	1.07862987303E-08	3.63994193770E-08	4.68987421479E-08	1.10418045311E-07
45.71 MTS	#	6.57829506090E-15	2.129741146449E-14	6.366946637818E-14	1.77569224431E-13	4.8493936831E-13
54.85 MTS	#	1.70299762552E-23	1.04573755097E-22	5.91862932148E-22	2.95016380896E-21	1.33286073874E-20
36.56 MTS	#	.466433746935	.480296292254	.499028407325	.511771657481	.522414092988
45.71 MTS	#	.136138092144	.152457904252	.169594395263	.184383015731	.196687100367
54.85 MTS	#	1.82485462202E-02	2.30460954041E-02	2.84473723057E-02	3.44135365189E-02	4.08940381956E-02
36.56 MTS	#	.117732025074	.11076943347	.104769233673	9.90707448992E-02	9.38218379101E-02
45.71 MTS	#	.110536853484	.104406788171	.098767302943	9.35676018924E-02	8.87638489443E-02
54.85 MTS	#	.103381417256	9.8732420877E-02	9.31092057633E-02	8.83701453085E-02	8.39785390629E-02
36.56 MTS	#	6.05369374084E-38	2.07380912974E-42	5.93518832045E-47	1.47609184311E-51	2.80936649962E-56
45.71 MTS	#	7.10701713685E-38	2.43384543898E-42	6.96560265939E-47	1.67367723253E-51	3.39099286277E-56
54.85 MTS	#	8.43793774963E-38	2.89647721424E-42	8.289644319135E-47	1.99181422713E-51	4.03526175403E-56
36.56 MTS	#	.318991506516	.295214701556	.280702340126	.267163340444	.254543852765
45.71 MTS	#	.294521897687	.280264582045	.267499269193	.255259482802	.243785482254
54.85 MTS	#	.275879574098	.263607414483	.252201653477	.241427800088	.231251158348

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR : JORGE TREVINO AGUILO
CARRERA : INGENIERIA QUIMICA
DIRECCION DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA
TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES: 3

ALTIMETRIA DE ERISTOM (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	1650	1700	1750	1800	1850
36.56 MTS	1.18419145314E-07	2.02510005877E-07	3.35578750898E-07	5.40264545992E-07	8.47062861716E-07
45.71 MTS	4.649337348831E-13	1.14933740864E-12	2.67571126487E-12	6.02540298307E-12	1.28951866776E-11
54.85 MTS	1.33280733974E-20	5.50518367637E-20	2.09514002372E-19	7.39711251813E-19	2.43765082642E-18
36.56 MTS	.222414072939	.531114356577	.538039700882	.543342125471	.547175618264
45.71 MTS	.199687100267	.214396572126	.228425991678	.241712084087	.254211099215
54.85 MTS	4.05940381954E-02	4.79294900217E-02	5.51548027543E-02	6.28017338823E-02	7.07012128952E-02
36.56 MTS	9.38218379103E-02	.088976749692	8.4495424454E-02	8.03425102903E-02	7.64688851266E-02
45.71 MTS	8.87638489143E-02	8.43123018747E-02	8.01937800113E-02	7.63630449461E-02	7.27982752183E-02
54.85 MTS	8.39785396429E-02	7.9901875324E-02	7.61111313875E-02	7.25804875162E-02	6.92875489429E-02
36.56 MTS	2.88936689962E-56	4.95689781149E-61	7.22921077915E-66	8.99706526091E-71	9.58995084319E-76
45.71 MTS	3.39099286277E-56	5.817446887599E-61	8.484782095991E-66	1.05990557576E-70	1.12548728644E-75
54.85 MTS	4.03256175403E-56	6.92324256317E-61	1.00769988734E-65	1.25661490008E-70	1.33942288336E-75
36.56 MTS	.254543852765	.242766348857	.231780781976	.221463924168	.211818171496
45.71 MTS	.241785882254	.233020256448	.222891186896	.213412348708	.2044477052158
54.85 MTS	.231231158368	.221637519366	.212353633768	.203967523194	.1952948673052

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR : JORGE TREVINO AGUIANO
CARRERA : INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIEFPA
TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES: 5

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	1850	1900	1950	2000	2050
36.56 MTS	8.4706281716E-07	1.2960934109E-06	1.9370581989E-06	2.8413137592E-06	4.08402582915E-06
45.71 MTS	1.28851866776E-11	2.64552735107E-11	5.23141169251E-11	9.99175094656E-11	1.84795279804E-10
54.85 MTS	2.43765082442E-10	7.5389897804E-10	2.1989519033E-10	6.07564745701E-10	1.59653167385E-10
36.56 MTS	.547175698264	.547684784009	.55100496506	.55126248148	.550574052096
45.71 MTS	.254211099215	.265896089086	.274754370253	.286785116836	.295997183249
54.85 MTS	7.0701215895E-02	7.8785251973E-02	9.65884610023E-02	9.52491918364E-02	.103510347324
36.56 MTS	7.64868851266E-02	7.2900891079E-02	6.95603647095E-02	6.44432496113E-02	6.35302302341E-02
45.71 MTS	7.2782752103E-02	6.94756194087E-02	6.63738148901E-02	6.34738616747E-02	6.07587424939E-02
54.85 MTS	6.9287549329E-02	6.62111941891E-02	6.33332404562E-02	6.06371774372E-02	5.81081680975E-02
36.56 MTS	9.58995264319E-76	8.78512493595E-81	6.93972672667E-86	4.74227287937E-91	2.81197029731E-96
45.71 MTS	1.12548728644E-75	1.03103202373E-80	8.14454062923E-86	5.56558414314E-91	3.30615938504E-96
54.85 MTS	1.33942268933E-75	1.22701331756E-80	9.69267645131E-86	6.62350509596E-91	3.92746264665E-96
36.56 MTS	.211818171696	.202771923355	.19427802126	.186293751124	.178780295974
45.71 MTS	.204477052158	.196045210427	.188139216478	.180664475891	.173409167808
54.85 MTS	.195848673052	.188168139603	.180898594914	.174014327303	.1674912125

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MERIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR: JORGE TREVINO AGUIAO
CARRERA: INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS: ING. ANTONIO SIERRA
TITULO DE LA TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO SON 6
EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO SON 5

ALTIMETRIA (M.S.)	E	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
		2000	2100	2200	2300	2400
36.54 MTS	x	2.84131375726E-06	5.76538026245E-06	1.07496543945E-05	1.76255824459E-05	3.34455940026E-05
45.71 MTS	x	2.99175264453E-11	3.31719603162E-10	9.85335983346E-10	2.65720052841E-09	6.58527023059E-09
54.87 MTS	x	6.07567457101E-17	4.00431281382E-16	2.21856358044E-15	1.05706228519E-14	4.41407133177E-14
36.54 MTS	x	.55124249149	.549046969106	.543860717883	.536387189962	.527186000082
45.71 MTS	x	.286785116836	.304407179642	.318916293409	.330542069768	.339553029574
54.87 MTS	x	9.52491918364E-02	.11171990235	.127802922327	.143189654674	.157653577368
36.54 MTS	x	6.64432496113E-02	6.68039456179E-02	5.58507139527E-02	5.14775278611E-02	4.75970214479E-02
45.71 MTS	x	6.34338616747E-02	5.82131820474E-02	5.35771275214E-02	4.94711687922E-02	4.58176864965E-02
54.87 MTS	x	6.06371774372E-02	5.57328069703E-02	5.13957189252E-02	4.75428931293E-02	4.41048670061E-02
36.54 MTS	x	4.74227287937E-91	0	0	0	0
45.71 MTS	x	5.56558414314E-91	0	0	0	0
54.87 MTS	x	6.62350589596E-91	0	0	0	0
36.54 MTS	x	.186293751124	.171702338092	.158727049132	.147142775384	.136761342246
45.71 MTS	x	.180654475891	.1669400209	.154678610226	.143677383524	.133778264669
54.87 MTS	x	.174914327303	.16130666192	.149870185751	.139552092258	.130220280166

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR : JORGE TREVIGIO AGUIAR
CARRERA : INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA
TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES: 5

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	2400	2500	2600	2700	2800
36.56 MTS	3.3445594002E-05	5.4297624138E-05	8.54837326817E-05	1.29441505372E-04	1.9002825239E-04
45.71 MTS	6.58527023059E-09	1.51510821572E-08	3.26477348854E-08	6.63628759269E-08	1.20061150022E-07
54.85 MTS	4.41407153177E-14	1.64132502243E-13	5.50817395569E-13	1.68753376579E-12	4.76640189564E-12
36.56 MTS	.5271868900082	.516714404825	.505336156897	.493344675915	.480972308267
45.71 MTS	.339553029574	.346231182309	.350955261755	.353690316895	.354981801008
54.85 MTS	.157653577369	.171041471194	.183261768781	.1947226842	.204071088762
36.56 MTS	4.75970214479E-02	4.41382253754E-02	4.10423109341E-02	3.82604076564E-02	3.57514830537E-02
45.71 MTS	4.58176864962E-02	.042552993097	3.96239906035E-02	3.69863507809E-02	3.46028002002E-02
54.85 MTS	4.4104889081E-02	4.10246947175E-02	3.82546657185E-02	3.57547198773E-02	3.34910241324E-02
36.56 MTS	0	0	0	0	0
45.71 MTS	0	0	0	0	0
54.85 MTS	0	0	0	0	0
36.56 MTS	.136761345246	.12742688078	.118999377941	.111372262548	.104446947419
45.71 MTS	.133778264669	.124843258638	.116754522195	.109411100395	.10272622185
54.85 MTS	.130220280166	.12175890146	.114069073946	.107860817331	.101661436765

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR: JORGE FEFERINO AGUIERO
CARRERA: INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS: ING. ANTONIO SIENRA
TITULO DE LA TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO ES: 5

ALTURA EFECTIVA # DE EMISION # (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	2800	2900	3000	3100	3200
36.56 MTS #	1.9092825259E-04	2.71349721375E-04	3.77941543299E-04	5.14719187893E-04	6.86900802824E-04
45.71 MTS #	1.29061150022E-07	2.375971866849E-07	4.16648034405E-07	7.08671918535E-07	1.16483893637E-06
54.85 MTS #	4.76840189754E-12	1.27168333129E-11	3.07854783819E-11	7.13694764260E-11	1.56826277994E-10
36.56 MTS #	.480972308267	.46840224742	.45277897665	.443210504373	.430785543918
45.71 MTS #	.354981801008	.354952239714	.353802934689	.351709457043	.348927910096
54.85 MTS #	.294071088762	.212692741268	.220124079374	.226245542826	.2319263136
36.56 MTS #	3.57514630537E-02	3.34810416653E-02	3.14198443611E-02	2.954297111482E-02	2.78291722524E-02
45.71 MTS #	3.46028002002E-02	3.24418197559E-02	.030476615337	2.86842948535E-02	2.70452078904E-02
54.85 MTS #	3.34910241324E-02	3.14348543747E-02	2.95617027089E-02	2.78505574176E-02	.02628332827
36.56 MTS #	0	0	0	0	0
45.71 MTS #	0	0	0	0	0
54.85 MTS #	0	0	0	0	0
36.56 MTS #	.104448947419	9.81409755154E-02	9.23834199507E-02	8.71132076493E-02	8.22773759216E-02
45.71 MTS #	.10272622185	.096623057974	9.10428652762E-02	8.59224425615E-02	8.12178471044E-02
54.85 MTS #	.100561436765	9.48037442751E-02	8.94106599057E-02	8.44912419805E-02	.079941302268

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR I JORGE TREVINO AGUIAO
CARRERA I INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS I ING. ANTONIO BIERRA
TITULO DE LA TESIS I ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AJRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES I 5

ALTURA EFECTIVA # DE ERISION # (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	3000	3200	3500	3750	4000
34.56 HTS #	3.77941243599E-04	7.87983086459E-04	1.47101096781E-03	2.31492307166E-03	4.003813703693E-03
45.71 HTS #	4.18649034405E-07	1.47583654556E-06	4.33961335363E-06	1.09986262511E-05	2.47131923449E-05
54.85 HTS #	3.07824283819E-11	2.282024585483E-10	1.26366346354E-09	5.543119946362E-09	2.01285292939E-08
34.56 HTS #	.455778897663	.428647391576	.394933104635	.367163335009	.341526858461
45.71 HTS #	.353802934689	.347134775239	.33672523913	.324125916495	.31037533579
54.85 HTS #	.229124078374	.234266670318	.242748831974	.248766766223	.247349105157
34.56 HTS #	3.14198443611E-02	2.7027722926E-02	2.34947992986E-02	2.06113053660E-02	1.82273574979E-02
45.71 HTS #	.030476615337	2.62773390382E-02	2.20889296455E-02	2.01147973220E-02	1.78154066441E-02
54.85 HTS #	2.95617022989E-02	2.55487096101E-02	2.22786839776E-02	1.96302497179E-02	1.74127661628E-02
34.56 HTS #	0	0	0	0	0
45.71 HTS #	0	0	0	0	0
54.85 HTS #	0	0	0	0	0
34.56 HTS #	9.2384199207E-02	8.00977317344E-02	6.99445080377E-02	.081655387241	5.47490165844E-02
45.71 HTS #	9.10428652762E-02	7.90064573744E-02	.069182172849	6.10648167983E-02	5.42845301893E-02
54.85 HTS #	8.94306970252E-02	7.78000422011E-02	.068261647402	6.03506611201E-02	5.37221380807E-02

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
 MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR : JORGE TREVINO AGUIADO
 CAMBIO : INGENIERIA QUIMICA
 DIRECTOR DE TESIS : ING. ANTONIO SIERRA
 TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
 MODELOS MATEMATICOS PARA LA
 DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
 EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES 5

ALTIMETRIA (MTB.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	420	460	470	480	490
36.56 MTS	2.1531873636E-29	9.78745264774E-29	4.16568579649E-28	1.66840049554E-27	6.31148574238E-27
45.71 MTS	2.6189091136E-49	3.22864364981E-48	3.57515900816E-47	3.57984747902E-46	3.26142602569E-45
54.85 MTS	4.57439521316E-77	2.24727970224E-75	9.51344005427E-74	3.41473253920E-72	1.05836701049E-70
36.56 MTS	1.15534263429E-04	1.71327813078E-04	2.48163271949E-04	3.51743629926E-04	4.88650767209E-04
45.71 MTS	7.34745434617E-09	1.55239146113E-08	3.14041204078E-08	6.10292364481E-08	1.14270045151E-07
54.85 MTS	1.72569807698E-15	6.53760509502E-15	2.23351287774E-14	7.12120756427E-14	2.12980861336E-13
36.56 MTS	.474082357144	.657678653105	.641731256153	.626236193699	.611187421843
45.71 MTS	.350128724294	.539117866748	.528274703618	.517612869262	.507142353612
54.85 MTS	.44898304977	.44192987935	.434876978459	.427839721228	.420609187944
36.56 MTS	0	0	0	0	0
45.71 MTS	0	0	0	0	0
54.85 MTS	0	0	0	0	0
36.56 MTS	1.24603593669	1.25217664122	1.256170097814	1.2582470739	1.2595110855
45.71 MTS	.694731723205	.713802684683	.731235589901	.747067312826	.761343701211
54.85 MTS	.34017194101	.359108878648	.37741212656	.395021395214	.41183089818

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
 MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS
 ELABORADO POR : JORGE THEVITO AGUIAO
 CARRERA : INGENIERIA QUIMICA
 DIRECCION DE TESIS : ING. ANTONIO BERRA
 TITULO DE LA TESIS : ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
 MODELOS MATEMATICOS PARA LA
 DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
 EL AIRE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELO ES 3

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (M.S.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO					
	470	490	490	500	510	510
36.56 MTS	4.18268577449E-28	1.88840049554E-27	6.31148574239E-27	2.26292999137E-24	7.71422854830E-26	
45.71 MTS	3.57515900818E-47	3.57984747902E-46	3.76142602569E-45	2.71887826824E-44	2.08488645850E-43	
54.85 MTS	9.51344005422E-74	3.41473253920E-72	1.05856701049E-70	2.85920874441E-69	6.78361519531E-68	
36.56 MTS	2.48163271948E-04	3.51743629926E-04	4.88658767207E-04	6.66378594522E-04	8.93219828666E-04	
45.71 MTS	1.14041204078E-08	6.10292364681E-08	1.14278045151E-07	2.06750722062E-07	3.62300210756E-07	
54.85 MTS	2.23351287774E-14	7.12120758427E-14	2.1298881336E-13	6.08388522235E-13	1.60187588636E-12	
36.56 MTS	.641731256153	.626236193699	.611187621841	.596578213276	.58239940075	
45.71 MTS	.528274703618	.517612869262	.507142353612	.496870959344	.486804442821	
54.85 MTS	.428874999459	.427830721228	.426809187944	.413827968919	.40619037231	
36.56 MTS	0	0	0	0	0	
45.71 MTS	0	0	0	0	0	
54.85 MTS	0	0	0	0	0	
36.56 MTS	1.25619007814	1.2582470739	1.2585110835	1.25713753556	1.25427341736	
45.71 MTS	.373235899701	.747067312826	.761343781211	.774117631632	.785447307815	
54.85 MTS	.37741212636	.393021368214	.411888089918	.427974668152	.4412514099572	

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NIVEL DE CONTAMINACION
MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

ELABORADO POR I JORGE TREVINO AGUADO
CARRERA I INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR DE TESIS I IND. ANTONIO SIERRA
TITULO DE LA TESIS I ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS
MODELOS MATEMATICOS PARA LA
DIFUSION DE CONTAMINANTES EN
EL AJRAE

EL NUMERO DE CALCULOS EN CADA ALTURA Y POR CADA MODELOS ES I 5

ALTURA EFECTIVA DE EMISION (MTS.)	CONCENTRACION AL NIVEL DEL SUELO EN LA DIRECCION DEL VIENTO				
	470	475	480	485	490
36.56 MTS	4.1626857649E-28	8.378225976346E-28	1.66840049554E-27	3.2675159441E-27	6.31148574238E-27
45.71 MTS	3.57515900816E-47	1.14517119236E-46	3.57984747502E-46	1.09296295303E-45	3.26142692569E-45
54.85 MTS	9.51344005627E-74	5.80819120359E-73	3.41473253926E-72	1.93530625979E-71	1.05854701049E-70
36.56 MTS	2.4816327194E-04	2.96219305550E-04	3.51743629926E-04	4.15387846766E-04	4.88658767209E-04
45.71 MTS	3.14041204078E-08	4.39902868526E-08	6.10292364681E-08	8.38959772632E-08	1.14278045151E-07
54.85 MTS	2.23311287774E-14	4.02139082386E-14	7.12120756427E-14	1.24106284270E-13	2.12988861336E-13
36.56 MTS	.641731256153	.613927599405	.426236193699	.618156523761	.611187621843
45.71 MTS	.528274703618	.522920448427	.517612869762	.512353157145	.507142353612
54.85 MTS	.434874999459	.431351836503	.427830721229	.424315832028	.420809187944
36.56 MTS	0	0	0	0	0
45.71 MTS	0	0	0	0	0
54.85 MTS	0	0	0	0	0
36.56 MTS	1.25619007814	1.25745273316	1.2582470739	1.25859329469	1.2585110855
45.71 MTS	.731235589901	.739348919983	.747067312826	.754396762694	.761343761211
54.85 MTS	.37741212636	.38630679646	.395201368214	.403550139661	.411888069818

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

Como pudimos observar durante el capítulo pasado, con base en la comparación entre los cinco modelos matemáticos más usados, para la simulación de la difusión de contaminantes en el aire. El modelo más recomendado para el caso de la presente tesis y por tanto de las plantas recuperadoras de azufre tipo Clauss es el de Pasquill-Gifford.

También observamos el efecto de la altura efectiva de emisión, sobre la buena difusión de los contaminantes en el aire antes de llegar a nivel del suelo. Ya que al elevar la altura de 36.56 m a 45.71 m y a 54.85 m las concentraciones se ven bastante abatidas, lo cual presenta -- esta variación como una alternativa de solución a los problemas de contaminación.

De acuerdo al análisis de resultados, podemos concluir que los niveles de concentración máxima a nivel del suelo son elevados, en comparación de los niveles máximos permisibles reportados bibliográficamente y de los de diseño, mismos que son los que deberán de cumplir las plantas.

Sin embargo el principal problema o más bien el problema que origina la alta contaminación del ambiente es la baja eficiencia con la que -- operan las plantas debido al mal estado de la instrumentación con que cuentan y posiblemente el arrastre de hidrocarburos con el gas ácido de alimentación a las plantas que no permite realizar un control adecuado de las mismas.

Una vez solucionado el problema de arrastre de hidrocarburos, se recomienda la instalación de un analizador de gas de colas que por análisis de dicho gas, el analizador desarrolle una señal directamente proporcional al porcentaje de cambio requerido en el aire de combustión -- para dar una relación estequiométrica aire-gas ácido, de tal manera -- que en el gas de colas se tenga una relación H_2S/SO_2 de dos, ya que --

actualmente el indicador de alto arrastre de azufre en el gas de colas es el color de los humos de la pluma de la chimenea.

En lo que respecta a la veracidad y precisión de la predicción de los modelos matemáticos usados en la presente tesis, ya mencionamos que se considera el modelo de Pasquill-Gifford como el más recomendable y en base a los resultados obtenidos con este modelo, se sugiere la elevación de la chimenea del incinerador a un mínimo de 54.85 m (la actual es de 36.56 m), para lograr una mejor difusión de los contaminantes en la atmósfera y así disminuir la concentración a nivel del suelo.

Sin embargo para evitar el problema de contaminación existen otras alternativas como son:

- a) Se puede elevar la recuperación de azufre en aproximadamente 1.5%, al enfriar más en el condensador pero evitando la solidificación -- del azufre.
- b) Instalación de una tercera etapa catalítica, para lo cual debe estar, primero, solucionado completamente el problema de control de la relación H_2S/SO_2 igual a dos, ya que si esto no está resuelto esta etapa catalítica no aumentará la eficiencia de la planta.
- c) Instalación de un proceso de tratamiento Post Clauss.

Finalmente podemos concluir que cualquiera de estas soluciones se resume a un análisis económico y la recomendación a priori es la de elevar la altura de la chimenea y/o la instalación de una tercera etapa catalítica. Además afirmamos que el empleo de los modelos matemáticos de simulación, es recomendable en el proceso de optimización de procesos en los que se presente una emisión de contaminantes hacia la atmósfera.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- 79 -

CAPITULO VII
B I B L I O G R A F I A

- 1.- Black, Sivalls & Bryson, Inc. "Manual de Operación Planta Endulzadora de Gas Natural y Planta Recuperadora de Azufre" en Cactus, Estado de Chiapas, Petroleos Mexicanos, México.
- 2.- R.K. Hass, M.N. Ingalls, T.A. Trinker, B.G. Goar, R.S. Purgason. -- "Process meets sulfur recovery needs". Hydrocarbon Processing, E.U.A. Mayo 1981.
- 3.- E.A. Watson, D. Hatley, T.H. Ledford, "Catalytically de gas Clauss - Sulfur", Hydrocarbon Processing, E.U.A. Mayo 1981.
- 4.- Andrew E. Chute, The Ralph M. Parsons, Co. "Sulfur Recovery from -- Low Hydrogen Sulfide Gases". Control of Enviromental Pollution, --- California E.U.A. Octubre 1982.
- 5.- L.W. Ross "Predict Pollutants Dispersión in Air and Water". Hydrocarbon Processing, E.U.A. Agosto 1968.
- 6.- Robert S. Smith, Gulf Interstate Engineering Co., "Control Stack Gas Pollution", Hydrocarbon Processing, pag. 223-225, E.U.A. Septiembre 1972.
- 7.- Theodore L. "Stacks Design for the Dilution of Air Pollutant Concentrations", E.U.A. 1980.
- 8.- Subdirección General de Ingeniería de Proyectos IMP y Gerencia de - Normalización de Proyectos de la Subdirección de Transformación --- Industrial de Pemex. "Estudio para la Normalización de las Plantas Recuperadoras de Azufre del complejo Petroquímico de Cactus Chiapas", Instituto Mexicano del Petroleo, México, D.F. Mayo 1984.

- 9.- A.T. Rossano, Jr, Sc. D. Michael J. Pilat, Ph.D. "Air Pollution Control - Guidebook for Management" Mc. Graw Hill B.Co. pág. 7-13, --- 25-30 New York, E.U.A. 1969.
- 10.- J.M. Marchello "Control of Air Pollution Sources" Chemical Proce--- ssing and Engineering Vol. 7 Marcel Dekker, Inc. pág. 75-80 New York, E.U.A. 1976.
- 11.- Henry C. Perkins "Air Pollution" Mc. Graw - Hill Book Co. pág. 47-49, 52-54, 145-170. New York, E.U.A. 1974.
- 12.- W.L. Faith, Arthur A. Atkisson Jr. "Air Pollution" 2a. Edition, Wi--- ley Interscience John Wiley and Sons Inc. pág. 30-40, México 1972.
- 13.- Virginia Brodine, "Air Pollution" Harcourt Brave Jovano-Vich, Inc. Chicago 1971.
- 14.- Gordon H. Strom, Artur C. Stern. "Air Pollution - Air Pollutants --- Their Transformation and transport" 3a. Edition Volumen I Academic - Press, Pág. 49-54 y 402-418 London 1976.
- 15.- C. Uribe V. A. García del Busto, D. Velázquez, A. Manjarrez, "Contri--- bución de los Modelos Matemáticos para el estudio de la Contamina--- ción Atmosférica", Revista del Instituto Mexicano del Petroleo, pág. 64-70 México Julio 1972.
- 16.- D.B. Turner, "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates", U.S. -- Department of Heath, Education and Welfare, Public Health Service -- Publication No. 99-AP-26 (Revisado 1969) E.U.A.
- 17.- Hans. A. Panofsky "Air Pollution Meteorology", American Scientist, - 57-2, pág. 269-285 E.U.A. 1969.

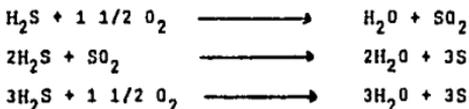
- 18.- Irving A. Singer, John A. Frizzola and Maynard E. Smith. "A. Simplified Method of Estimating Atmospheric Diffusion Parameters" *Journal of the Air Pollution Control Association* Vol. 6 No. 11 pág. 594-596 E.U.A. Noviembre 1966.
- 19.- Milton R. Beychok "Stacks Design for a Pollutants Emissions" Milton R. Beychok California E.U.A. 1979.
- 20.- R.E. Balzhiser, M.R. Samuels, J.D. Eliassen. "Termodinámica Química para Ingenieros" Editorial Prentice Hall Internacional Apéndice E. España 1979.
- 21.- K.A. Kobe y Colaboradores "Thermochemistry for the Petrochemical --- Industry" *Petroleum Refiner*, E.U.A. Noviembre 1954.
- 22.- F.W. Thomas S.B. Carpenter and F.E. Gartrell. "Stacks-How High?", -- *Journal of the Air Pollution Control Association*, Vol. 13 No. 5 pág. 198-204 E.U.A. Mayo 1963.
- 23.- Perry & Chilton "Chemical Engineering Handbook", Mc. Graw Hill Book, Co. 2a. Edition, Tokyo Japón 1980.
- 24.- Pasquill F. "Atmospheric Diffusion" 2a. Edition, John Wiley and Sons, New York E.U.A. 1974.
- 25.- Bosanquet C.H. and Pearson, J.L. "The Spred of Smoke and Gases from Chimneys", *Trans. Faraday Society*, 32: 1249 E.U.A. 1936.
- 26.- Gifford F.A. "Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion", *Nuclear Safety* E.U.A. 1961.

- 27.- Smith M.E. "Recommended Guide for the Prediction of the Dispersion of Airborne Effluents" ASME, E.U.A. 1968.
- 28.- Lou Theodore "Apuntes de la Maestría de Ingeniería Química" Manhattan College, Consultor en Ingeniería Ambiental de la Asociación - Americana de Protección Ambiental, New York, E.U.A. 1980.
- 29.- Mario Calles Negrete Secretario, "Lineamiento para determinar el - criterio que servirá de base para evaluar la calidad del aire en - un determinado momento" Secretaría de Salubridad y Asistencia, --- págs. 84 y 85 Diario Oficial de la Federación 29 de noviembre de - 1982.

APENDICE A
DESCRIPCION DEL PROCESO

Dentro de la Industria Petroquímica uno de los contaminantes más frecuentes con los que se encuentran problemas desde el punto de vista - proceso y desde el punto de vista contaminación atmosférica es el "Azufre" el cual se presenta en sus diversas formas, como es el ácido sulfhídrico o el dióxido de azufre, etc. Uno de los recursos más importantes de la Petroquímica es el gas natural, el cual presenta generalmente gran contenido de azufre. Este puede ser recuperado de los gases ácidos producidos en el endulzamiento del gas natural, mediante el Proceso de Clauss. Estos gases ácidos contienen ácido sulfhídrico en diferentes porcentajes y algunas otras impurezas en pequeñas cantidades.

El Método Clauss como lo muestra la figura No. A.1, conata y se desarrolla como sigue: los gases ácidos entran en un tanque separador donde se pretende la eliminación eficiente de cualquier líquido arrastrado, luego los gases ácidos se mezclan con suficiente aire suministrado por sopladores de aire, para quemar 1/3 del ácido sulfhídrico en la cámara de combustión que funciona como un horno-reactor de alta -- temperatura sin catalizador, donde se llevan a cabo en forma simultánea las siguientes reacciones:



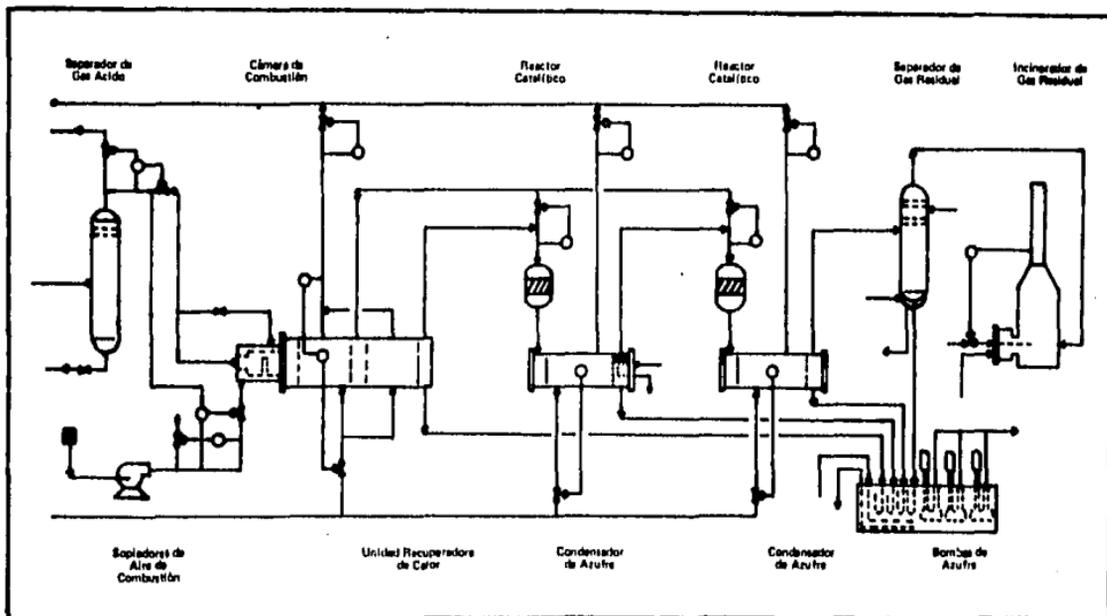


Figura A.1 Diagrama de Proceso Planta Recuperadora de Azufre.

La segunda reacción se prolonga hasta el área de los convertidores. Los productos de la reacción pasan al recipiente recuperador de calor, en el que la mayor parte del calor producido en la reacción se remueve generando vapor de agua de baja presión. La conversión alcanzada en la cámara de combustión es de 41% aproximadamente. El Azufre condensado en el recuperador de calor se manda a la fosa de almacenamiento de azufre y el gas saliente se recalienta para entrar sobre el catalizador en el primer reactor, una conversión de 40% se efectúa en este reactor. El gas del primer convertidor se enfría - generando vapor en un condensador de azufre, y el azufre producido se separa y se manda a la fosa de almacenamiento. El gas restante se vuelve a calentar y se pasa al siguiente convertidor, donde la - conversión es de alrededor del 15%. El gas procedente de este se- - gundo reactor se vuelve a enfriar en otro condesador de azufre, ge- - nerando vapor. El proceso típico de Clausz incluye tres etapas cata- - líticas alcanzando una conversión genérica del 98%, sin embargo el proceso dentro del cual se realizará el estudio comparativo de - los modelos matemáticos incluye únicamente dos convertidores catalí- - ticos, es decir hasta el reactor donde se alcanza la conversión de 15%. Por lo anterior, en nuestro proceso se espera una conversión total del 95 al 96%. Después el proceso continúa enviando los gases que salen del último condensador de azufre, a un tanque depurador - de gas residual para separar cualquier cantidad de azufre arrastrado, produciéndose lo que generalmente se conoce con el nombre de gas de colas.

Aquí es donde comienza la parte del proceso en la cual se centralizan los trabajos de la presente tesis. El gas de colas es inyectado a un incinerador donde es quemado mediante aire elevándose la temperatura por la reacción, aunque no lo suficiente para que continúe la - combustión del gas de colas y con ello la transformación del azufre- y ácido sulfhídrico, que no se condensa o convirtió en las etapas an- - teriores, a dióxido de azufre. Para lograr que la temperatura se ele- - ve lo suficiente para que se inicie, la combustión de azufre y ácido sulfhídrico se necesita emplear un gas de combustión, el cual al que- - marse elevará dicha temperatura hasta unos 704.4 °C (1300 °F) aproxi- - madamente, punto en el cual se lleva a cabo la combustión total del - azufre.

Durante esta combustión se generan gases de salida, los cuales son expulsados a la atmósfera mediante una chimenea, la cual es un factor determinante en la correcta difusión en el aire de los contaminantes contenidos en los gases de salida o gases de chimenea.

APENDICE B
BASES DE DISEÑO

Ya sabemos que existen numerosas variables que afectan el nivel de -- concentración de una sustancia contaminante, que se difunde en la atmósfera mediante una chimenea, pero para nuestro trabajo, el número de variables se reducirá, considerando únicamente aquellas cuyo grado de afectación en esta difusión es importante.

Dentro de estos factores importantes encontramos los de tipo meteorológico o de localización, que para el caso de nuestro trabajo son los que a continuación aparecen y que también constituyen las Bases de -- Diseño.

CACTUS CHIAPAS

Condiciones Climatológicas

1.- TEMPERATURA.

máxima extrema	40.0 °C
mínima extrema	9.0 °C
máxima promedio	37.7 °C
mínima promedio	20.8 °C
promedio	25.7 °C
promedio del mes más caliente	30.2 °C
promedio del mes más frío	11.0 °C
prom. de bulbo húmedo	27.7 °C

2.- PRECIPITACION PLUVIAL .

horaria máxima	83 mm
máxima en 12 ó 24 Hr.	672 mm
anual media	2,242.5 mm

Estadísticas de Tormentas eléctricas:

enero	0	julio	3
febrero	0	agosto	1
marzo	0	septiembre	0
abril	3	octubre	0
mayo	5	noviembre	0
junio	3	diciembre	0

3.- VIENTO

dirección de vientos dominantes de NE a SE
dirección de vientos reinantes de NE a SE
velocidad media 20.7 Km/Hr = 345 m/seg.
velocidad máxima 240 Km/Hr = 4000 m/seg.

4.- HUMEDAD

máxima 95 % a 28.3 °C (82.94 °F)
mínima 75 % a 37.7 °C (99.86 °F)

5.- ATMOSFERA

presión atmosférica 1.03 Kg/cm² abs. = 14.64969 lb/in² = 0.99 Atm.
atmósfera corrosiva
contaminantes CO, CO₂, Cl, H₂O y H₂S

Los factores de planta son bases de diseño y pueden ser separados en dos grupos en base al uso que darán posteriormente en el presente trabajo y son:

- A) Para los balances de materia y energía
 - B) Para los cálculos de la concentración a nivel del suelo en los diferentes modelos.
- A) Para el primer caso se trabajara con una corriente de gases de proceso o gas de colas que procede de etapas catalíticas y cuya composición es la siguiente:

Componente	Mol/hr	% mol
S	1.2	0.04
S ₂		
S ₆		
S ₈		
H ₂ S	15.8	0.57
SO ₂	7.9	0.29
H ₂ O	760.3	27.66
N ₂	1,229.9	44.74
CO ₂	733.9	26.70
TOTAL	2,749.0	100.00

Las reacciones de combustión del azufre son:



Para asegurar el suministro de aire necesario (el oxígeno necesario) - que las reacciones anteriores emplearán, se recomienda meter un exceso del 15% y la composición del aire a utilizar es:

Componente	% Mol
O ₂	21.13
N ₂	76.07
H ₂ O (1)	2.80
<hr/> T O T A L	<hr/> 100.00

NOTA: (1) El proceso no contaba con deshumidificadores de aire por lo que el aire empleado contiene 2.80 % en Mol de agua.

También para que se completen las reacciones de combustión de azufre, - se necesita alcanzar una temperatura de reacción de 1300 °F (704.4°C) mientras que el aire esta a 78°F (25.6°C) y el gas de colas a quemar - viene a 320°F (160°C) del proceso, por lo que habra que emplear un gas combustible a una temperatura de 78°F (25.6°C) y con una composición - como la siguiente:

Componente	% Mol
CH ₄	96.04
C ₂ H ₆	3.83
C ₃ H ₈	0.09
CO ₂	0.04
<hr/> T O T A L	<hr/> 100.00

Hay que considerar al CO₂ y el N₂ como inertes.

B) Los datos obtenidos en el procedimiento de Balances de Materia y -- Energía constituyen bases de diseño, para la segunda parte corres-- pondiente al cálculo de concentraciones. Por lo anterior la composi-- ción, cantidad y componentes de los gases de chimenea son importan-- tes.

<u>Componente</u>	<u>Mol/Hr</u>	<u>Fracción Mol</u>	<u>lb/Hr</u>
C ₂	31.623	0.00820	1,011.936
N ₂	1,994.691	0.51750	55,851.348
H ₂ O	974.273	0.25292	17,547.714
CO ₂	827.161	0.21460	36,395.084
SO ₂	26.100	0.00677	1,670.400
<u>TOTAL</u>	<u>3,854.448</u>	<u>1.00000</u>	<u>112,476.480</u>

Este gas tiene un peso molecular promedio de $29.19064 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$

A continuación enunciamos los parámetros empleados en cada modelo, cuales serían sus valores si es que existen en bibliografía y cuales hay que variar o calcular previamente.

PARAMETROS

- (Q) El gasto de contaminante emitido es una variable importante dentro de los modelos ya que representa la cantidad que deberá de ser difundida en el aire, y se obtiene como sigue:

De la composición del gas de chimenea sabemos que de Dióxido de Azufre hay:

26.1 moles por cada hora de emisión

Entonces lo único que queda hacer es cambiar de unidades, para ser utilizado en los modelos matemáticos:

$$26.1 \frac{\text{moles}}{\text{hr}} \times \frac{\text{hr}}{3600 \text{ seg}} \times \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{2.2046 \text{ lb}} \times \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} = 210.469 \frac{\text{gr}}{\text{seg}}$$

Corrigiendo con la densidad a 25.5 °C (78°F) y 0.99 atm (14.649 lb/in²) tenemos, $210.469 \frac{\text{gr}}{\text{seg}} \times (3.50302 \text{ E} - 4) \frac{\text{m}^3}{\text{gr}} = 0.0737276 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$.

- (U) La velocidad media del viento es la variable climatológica de más importancia dentro de los modelos de difusión, ya que las condiciones de turbulencia dependen en gran parte de ella. Y tenemos - que de acuerdo a la parte inicial del capítulo para nuestro trabajo es:

$$20.7 \frac{\text{Km}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ Km}} = 5.75 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

- (X) Es la distancia que existe entre la chimenea y el punto en que se pretenda conocer la concentración del contaminante a nivel del -- suelo, por lo cual su valor dentro de los cálculos deberá variar. Sus unidades son metros (m).
- (Y) Es la anchura de la pluma de humos, la cual únicamente una de las dimensiones del volumen ocupado por los gases o humos emitidos y para nuestro caso se fijó en 20 m.
- (Z) Es la Altura Efectiva de Emisión la cual está constituida por dos partes: a) La Altura física de la chimenea, y b) La Altura de la Pluma de humos.

La primera se conoce generalmente o se supone en un tamaño estándar y se varía hacia abajo o hacia arriba, de modo que permita -- ver la variación de la difusión con las diferentes alturas y poder tener opciones para decidir sobre las dimensiones más adecuadas, tanto económicas como técnicas. Para la aplicación en los -- cálculos se tomarán los siguientes valores:

70, 100 y 130 (ft).

La segunda parte es aquella altura, que los gases de chimenea o -- humos alcanzan a partir de la boca de salida de la chimenea y debi -- do a la velocidad con que se mueven los gases, en su trayecto -- ascendente dentro de la chimenea.

De los diferentes métodos para calcular este parámetro, se han escogido dos de ellos, y son los que a continuación aparecen:

Método de Theodore

$$Z = H_s + \Delta h$$

donde:

H_s = altura física de la chimenea (m)

Δh = altura de la pluma de humos (m)

y donde la altura de la pluma es calculada por el método de Holland (valido para gases efluentes más calientes de 125 °F).

$$\Delta h = \frac{V_s d_s}{U} \left(1.5 + 0.0268 P \frac{T_g - T_a d_s}{t_g} \right)$$

donde:

V_s = velocidad de los gases de salida de la chimenea (m/seg)

d_s = diámetro de la chimenea (2.3209 m dato real en planta)

U = velocidad media del viento (5.75 m/seg)

P = presión atmosférica (1010 milibars = 1.03 Kg/cm² abs)

T_g = temperatura de los gases en la chimenea (°K)

T_a = temperatura ambiente (298.85 °K = 25.7 °C)

Δh = altura de la pluma de humos (m).

y tenemos que:

$$V_s = 112,476.48 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \left(10.73 \frac{\text{ft}^3 \text{ psias}}{\text{lbmol} \cdot \text{hr}} \times \frac{1760 \text{ }^\circ\text{K} \text{ lbmol}}{29.18064 \text{ lb}} \times \frac{1}{14.7 \text{ psias}} \times \frac{1}{45.5389} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}} \right)$$

$$= 30.2048 \frac{\text{ft}}{\text{seg}} \times 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}} = 9.2064 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$\Delta h = \frac{9.2064 \frac{m}{seg} \cdot 2.3209m}{5.75 \frac{seg}{m}} \left(1.5 + (0.0268)(1010) \left(\frac{977.6-298.85}{977.6} \right) (2.3209) \right)$$

$$\Delta h = 162.08 \text{ m}$$

Metodo de Smith

$$Z = H_e = H_s + 0.75 (H_v + H_t)$$

Donde:

Hv = Factor de corrección por cabeza velocidad (ft)

Ht = Factor de corrección térmico Boyante (ft)

Donde:

$$H_v = \frac{4.77}{1.0 + 0.43 \frac{U}{V_s}} \left(\frac{\sqrt{OT_1} (V_s)}{U_1} \right)$$

Donde:

U₁ = Velocidad media del viento (ft/seg)

V_s = Velocidad de gases de salida de la chimenea (ft/seg)

QT₁ = Flujo total de gases de salida de la chimenea (SCFS).

Y,

$$H_t = \frac{0.387 (OT_1) (\Delta T) (Z)}{U_1^3}$$

Donde:

ΔT = Diferencia entre las temperaturas en la chimenea y el medio -- ambiente (°F).

$$\frac{Y}{Z} = \ln J^2 + \frac{2}{J} - 2$$

$$J = \frac{U_1^2}{\sqrt{QT_1} (V_s)} \left(0.43 \frac{\sqrt{Ti}}{gcG} - \frac{0.28 V_s T_i}{80 T} \right) + 1$$

Donde:

T_i = Temperatura ambiente ($^{\circ}F$)

G = Gradiente de potencial atmosférico-temperatura (0.0108 $^{\circ}F/ft$) ó --
tasa adiabática del lapso.

$$g_c = 32.2 \frac{lb \text{ ft}}{lb_f \text{ seg}^2} = 9.8 \frac{Kg \text{ m}}{Kg \text{ f seg}^2}$$

Y tenemos que:

$$H_v = \frac{4.77}{1.0 + \frac{0.43(18.364829)}{30.2048}} \left(\sqrt{\frac{384.51377(30.2048)}{18.864829}} \right)$$

$$H_v = 21.480658 \text{ ft}$$

$$J = \frac{(18.864829)^2}{\sqrt{384.51377(30.2048)}} \left(\frac{0.43\sqrt{78.26}}{32.2(0.0108)} - \frac{0.28(30.2048)(78.26)}{32.2(1,221.74)} \right) + 1$$

$$= 37.072659$$

$$Z = \ln(37.072659)^2 + \frac{2}{37.072659} - 2 = 1.6668278$$

$$H_t = \frac{0.387(384.51377)(1300-78.26)(1.6668278)}{(18.8664829)^3} = 45.125249 \text{ ft}$$

$$\Delta h = 0.75 (H_v + H_t)$$

$$= 0.75 (21.480658 + 45.125249) = 49.95443 \text{ ft} = 15.22611 \text{ m}$$

Comparando las magnitudes de las plumas de humos (Δh) obtenidas por los métodos de Holland y Smith, podemos observar que la del método de Smith es menor, por lo que, de acuerdo a la relación de que a menor altura -- mayor concentración por ser menor la turbulencia y menor la difusión. -- Entonces se empleará esta altura (Smith), en los cálculos de las alturas efectivas que se utilizarán en los modelos matemáticos.

$$Z_1 = H_{e1} = 70 + 49.95443 = 119.95443 \text{ ft} = 36.56 \text{ m}$$

$$Z_2 = H_{e2} = 100 + 49.95443 = 149.95443 \text{ ft} = 45.71 \text{ m}$$

$$Z_3 = H_{e3} = 130 + 49.95443 = 179.95443 \text{ ft} = 54.85 \text{ m}$$

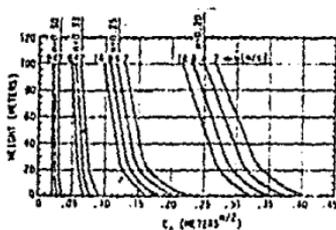
- (n) El índice de turbulencia es una relación matemática que conjunta -- factores como la velocidad del viento y el grado de turbulencia. Marca que tan estable o turbulento es un ambiente, es adimensional y servirá para obtener los coeficientes de Difusión y de Estabilidad. Se obtiene de la siguiente tabla un valor de 0.33 en base al grado de turbulencia.

Sutton's Turbulence Index Values			
Lapse classification	Vertical temperature difference (°F/100 ft)	n Value	\bar{u} (m/sec)
Strong lapse	<-1.0	0.20	7.0
Weak lapse	-1.0 to 0	0.33	5.0
Weak inversion	0 to 2.5	0.33	3.0
Strong inversion	>2.5	0.50	2.0

Figura B.1 Valores del Índice de Turbulencia de Sutton (n).

- (D_y y D_z) También conocidos como C_y y C_z son los coeficientes de difusión, en las direcciones Y y Z, anteriormente explicadas y son obtenidos en base a la siguiente gráfica, tomando en cuenta que cuando $n = 0.33$ $D_y = 4D_z$, para escapes mayores de 30 minutos durante condiciones de inversión.

Figura B.2 Relación del Índice de Turbulencia con el coeficiente de difusión en Z, con la altura y la velocidad del viento.



Debido a que se ven afectados los valores por la altura, tenemos que para las tres alturas con las que se trabajará son los valores siguientes:

36.56 m	$D_y = 0.26$	y	$D_z = 0.065$
45.71 m	$D_y = 0.24$	y	$D_z = 0.060$
54.85 m	$D_y = 0.22$	y	$D_z = 0.055$

Sus unidades son m^2/s^2

Se ha decidido el considerar a nuestro caso como de turbulencia moderada por su velocidad del viento (5.75 m/seg), sus temperaturas y tipo de radiación. Quedando como categoría C dentro de la clasificación de Pasquill.

- (P y Q) Son los parametros de estabilidad de la ecuación de Bosanquet-Pearson, mismos que son adimensionales y que para el caso de una turbulencia moderada tenemos que.

$$P = 0.10 \quad q = 0.16 \quad p/q = 0.63$$

- (n_y y n_z) También se conocen como σ_y y σ_z . Son los parametros de estabilidad de las ecuaciones de Pasquill-Gifford y Sutton modificada (también conocida como USPHS-TVA) y pueden ser obtenidos de las dos gráficas que a continuación anexamos: (figs. 3.3 y 3.4).

Pero para fines prácticos del programa que se empleara en el capítulo VI, tenemos la siguiente adecuación de las gráficas:

$$Ny = 81.3 (X) + Bb$$

$$Nz = 49.7 (X) + Bb1$$

Donde :

X = Es la distancia en dirección del viento desde la fuente de emisión.

Sí $X < 1.01$ entonces $Bb = 3.87$ $Bb1 = 2.93$

Sí $X \geq 1.01$ Y $X \leq 6$ entonces $Bb = 23.70$ $Bb1 = 11.30$

Sí $X \geq 6.01$ Y $X \leq 11$. entonces $Bb = 167.00$ $Bb1 = 3.00$

- (R) Es una corrección geométrica de la distancia X, y que para fines prácticos es aproximadamente igual a ella.

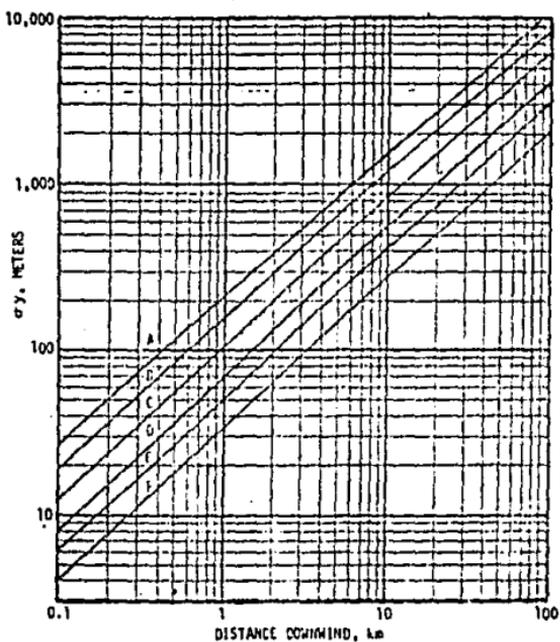


Figura B.3 Coeficiente de Dispersión Horizontal como función de la distancia desde la fuente en la dirección del viento.

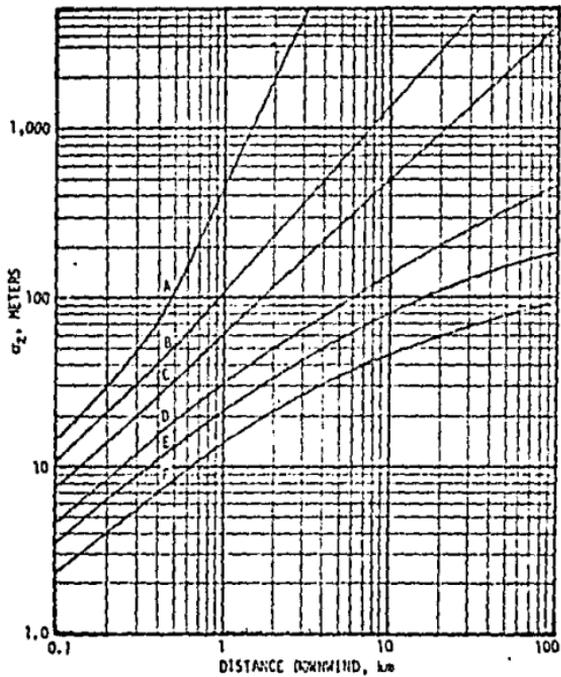


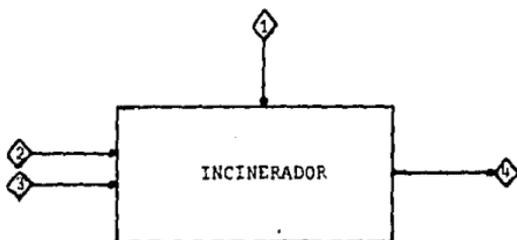
Figura B.4 Coeficiente de Dispersión Vertical como función de la distancia desde la fuente en la dirección del viento.

APENDICE C

BALANCES DE ENERGIA Y MATERIA
EN EL INCINERADOR

Para conocer la cantidad de combustible y de aire, que son necesarios para llevar a cabo la combustión completa del azufre contenido en los gases de colas del proceso, es necesario hacer balances de energía y materia en el incinerador, ya que con ellos se podrán conocer los requerimientos energéticos en el sistema de incineración y la composición final de los gases que serán expulsados al ambiente mediante la chimenea.

El sistema del incinerador puede ser representado con el siguiente diagrama:



Notación:

- ① Gases provenientes del proceso o gases de colas.
- ② Combustible gas.
- ③ Aire de Combustión.
- ④ Gases de Chimenea.

Después de 2 etapas catalíticas se ha alcanzado una recuperación de azufre del 95.17% y la composición de la corriente $\diamond 1$ es:

COMPONENTE	Mol/hr	% mol
S	1.2	0.04
S ₂		
S ₆		
S ₈		
H ₂ S	15.8	0.57
SO ₂	7.9	0.29
H ₂ O	760.3	27.66
N ₂	1,229.9'	44.74
CO ₂	733.9	26.70
TOTAL	2,749.0	100.00

Tenemos que las condiciones del diseño son las que aparecen a continuación y serán las que se tomarán en base a una hora.

T requerida en incinerador = 704.4 °C (1300 °F)

T aire = 25.5 °C (78 °F)

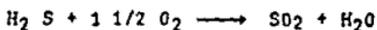
T gas de colas = 160 °C (320 °F)

T gas combustible = 25.5 °C (78 °F)

El aire necesario para quemar el azufre, debiera ser suficiente para la combustión por lo que se aplicara en un exceso del 15%.

De acuerdo a la estequiometría de las reacciones de quema del azufre, - en sus diferentes formas, se obtiene la cantidad de oxígeno que se empleara en el incinerador.

- Balance de Materia



El oxígeno requerido es:

$$S_2 \text{ que entra al incinerador} = 1.2 \frac{\text{Mol}}{\text{hr.}}$$

$$O_2 \text{ Para quemar el } S_2 = 1.2 (2) = 2.4 \frac{\text{Mol}}{\text{hr.}}$$

$$H_2S \text{ que entra al incinerador} = 15.8 \frac{\text{Mol}}{\text{hr.}}$$

$$O_2 \text{ para quemar el } H_2S = 15.8 (1.5) = 23.7 \frac{\text{Mol}}{\text{hr.}}$$

$$O_2 \text{ requerido total} = 2.4 + 23.7 = 26.1 \frac{\text{Mol}}{\text{hr.}}$$

$$O_2 \text{ alimentado total} = 26.1 \frac{\text{Mol}}{\text{hr.}} \times 1.15 = 30.015 \frac{\text{Mol}}{\text{hr.}}$$

La composición del aire de la corriente \diamond

Componente	% mol	Mol/hr
O ₂	21.13	26.10
N ₂	76.07	94.00
H ₂ O	2.80	3.50
TOTAL	100.00	123.60

Para el gas quemado tenemos que:

El CO_2 y el H_2 son inertes y la cantidad de ellos dentro del gas, se conserva igual.

$$\text{H}_2\text{O gas quemado} = \text{H}_2\text{O entra incinerador} + \text{H}_2\text{O aire.}$$

$$\text{H}_2\text{O gas quemado} = 760.30 \frac{\text{Mol}}{\text{hr}} + 3.50 \frac{\text{Mol}}{\text{hr}} = 763.80 \frac{\text{Mol}}{\text{hr}}$$

$$\text{O}_2 \text{ gas quemado} = \text{O}_2 \text{ exceso} = 30.015 - 26.1 = 3.915 \frac{\text{Mol}}{\text{hr}}$$

$$\text{SO}_2 \text{ producido} = \text{O}_2 \text{ requerido total} = 26.1 \frac{\text{Mol}}{\text{hr}}$$

Tomando los datos de los balances anteriores queda la composición del gas quemado como aparece a continuación.

Componente	Mol/hr	% Mol
SO_2	26.100	0.95
H_2O	763.800	27.70
N_2	1,229.900	44.60
O_2	3.915	0.14
CO_2	733.800	26.61
TOTAL	2,757.615	100.00

Balance de Energía

Para poder completar los datos en el incinerador es necesario hacer un balance de energía como sigue:

Para cualquier reacción tenemos la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{reacción}} = Q_{\text{productos}} - Q_{\text{reactivos}}$$

Para obtener el calor de los reactivos es necesario calcular sus capacidades caloríficas.

Para el aire a 25.5°C (78°F).

$$\bar{C}_p_{\text{aire}} = C_{p_{\text{N}_2}} (X_{\text{N}_2}) + C_{p_{\text{O}_2}} (X_{\text{O}_2}) + C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} (X_{\text{H}_2\text{O}})$$

<u>Nitrógeno</u>	<u>Oxígeno</u>	<u>Agua</u>
$X_{\text{N}_2} = 0.7607$	$X_{\text{O}_2} = 0.2113$	$X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.028$
$a = 6.903$	$a = 6.085$	$a = 7.7$
$b = -0.03753 \times 10^{-2}$	$b = 0.3631 \times 10^{-2}$	$b = 0.04594 \times 10^{-2}$
$c = 0.1930 \times 10^{-5}$	$c = -0.1709 \times 10^{-5}$	$c = 0.2521 \times 10^{-5}$
$d = -0.6861 \times 10^{-9}$	$d = 0.3133 \times 10^{-9}$	$d = -0.8587 \times 10^{-9}$

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (T \text{ [}^{\circ}\text{]} \text{ } ^{\circ}\text{K})$$

Calculamos el C_p para cada componente a $T = 78^{\circ}\text{F} = 298.7^{\circ}\text{K} = 25.5^{\circ}\text{C}$.

Para el tanteo se generó la siguiente tabla.

Temperatura °C(°F)	ΔT °C(°F)	C_p Cal./grmol °K (BTU/lbmol°F)	$Q=2757.6 C_p \Delta T$ Cal/hr x 10 ⁹ (BTU/hr)	Error a 9'210,484 (%)
204.4 (400)	332	9.1061	2.101 (8'336,846)	- 9.5
176.6 (350)	282	8.9297	1.750 (6'944,120)	-24,6
148.8 (300)	232	8.7430	1.662 (6'593,450)	-39.3
210.0 (410)	342	9.1739	2.180 (8'651,918)	- 6.1
211.1 (430)	362	9.2054	2.326 (9'229,232)	+ 0.2
220.5 (429)	361	9.2042	2.309 (9'162,674)	+ 0.5
221.3 (430.5)	362.5	9.2469	2.329 (9'243,478.5)	+ 3.6
220.8 (429.5)	361.5	9.2434	2.322 (9'214,490.3)	+ 0.01

La temperatura de salida del gas quemado es 220.83 °C (429.5°F), por lo tanto se requiere que el gas combustible eleve la temperatura de 220.83°C (429.5°F) a 704.40°C (1300°F).

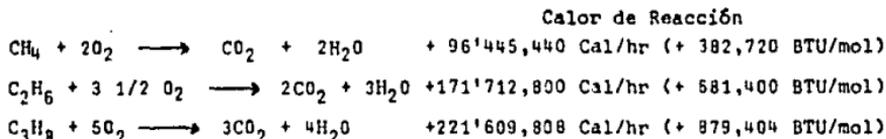
El gas combustible que se alimenta en la corriente \diamond , presenta la composición siguiente:

Componente	% mol
C H ₄	96.04
C ₂ H ₆	3.83
C ₃ H ₈	0.09
CO ₂	0.04
T O T A L	100.00

Realizando un balance de materia para el gas combustible permitirá conocer la cantidad que se requiere y cual es la composición definitiva de los gases que se expulsan ó gases de chimenea.

Sí (X) = Cantidad de gas combustible [] $\frac{\text{mol}}{\text{Hr.}}$

Las reacciones de quemado de los diferentes componentes del gas combustible son las siguientes:



Componente	Cantidad (mol/hr)	O ₂ requerido (mol/hr)	O ₂ requerido + 15% exceso (mol/hr)
CH ₄	0.9604 (X)	1.9208 (X)	2.2089 (X)
C ₂ H ₆	0.0383 (X)	0.1341 (X)	0.1542 (X)
C ₃ H ₈	0.0009 (X)	0.0045 (X)	0.0052 (X)
CO ₂	0.0004 (X)	— ° —	— ° —
TOTAL	(X)	2.0594 (X)	2.3683 (X)

En el aire utilizado para la combustión estan las siguientes cantidades, en forma proporcional a la composición de la misma.

<u>Componente</u>	<u>Cantidad</u>
O ₂	2.3683 (X)
N ₂	8.5261 (X)
H ₂ O	0.3138 (X)
TOTAL	11.2082 (X)

$$C_{pN_2} = 6.903 + (-0.03753 \times 10^{-2})(298.7) + (0.1930 \times 10^{-5})(298.7)^2 + (-0.6861 \times 10^{-9})(298.7)^3$$

$$C_{pN_2} = 6.9448108$$

$$C_{pO_2} = 6.085 + (0.3631 \times 10^{-2})(298.7) + (-0.1709 \times 10^{-5})(298.7)^2 + (0.3133 \times 10^{-9})(298.7)^3$$

$$C_{pO_2} = 7.0254494$$

$$C_{pH_2O} = 7.7 + (0.04594 \times 10^{-2})(298.7) + (0.2521 \times 10^{-5})(298.7)^2 + (-0.8587 \times 10^{-9})(298.7)^3$$

$$C_{pH_2O} = 8.0392659.$$

$$\bar{C}_p \text{ aire} = 6.9448108(0.7607) + 7.0254494(0.2113) + 8.0392659(0.028)$$

$$\bar{C}_p \text{ aire} = 6.9925 \frac{\text{Cal}}{\text{gmol}} \text{ } ^\circ\text{K} \quad \left[\begin{array}{l} \text{BTU} \\ \text{lbmol} \end{array} \right] \text{ } ^\circ\text{F}$$

La capacidad calorífica del gas de colas (corriente \diamond) se obtiene igualmente ponderando.

$$a \quad 320 \text{ } ^\circ\text{F} = 433.15 \text{ } ^\circ\text{K} = 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{C}_p \text{ gas colas} = C_{pS_2} X_{S_2} + C_{pH_2S} X_{H_2S} + C_{pSO_2} X_{SO_2} + C_{pH_2O} X_{H_2O} + C_{pN_2} X_{N_2} + C_{pCO_2} X_{CO_2}$$

$$\bar{C}_p \text{ gas colas} = 8.1417326 (0.0004) + 8.6168726 (0.0057) + 10.611068 (0.0029) + 8.3021923 (0.2766) + 7.0467859 (0.4474) + 9.9346784 (0.2670)$$

$$\bar{C}_p \text{ gas colas} = 8.1848 \frac{\text{Cal}}{\text{gmol}} \text{ } ^\circ\text{K} \quad \left[\begin{array}{l} \text{BTU} \\ \text{lb mol} \end{array} \right] \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{Dado que } Q \text{ reactivos} = Q \text{ aire} + Q \text{ gas de colas}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{aire}} &= m C_p \Delta T \\ &= 123.6 \frac{\text{mol}}{\text{hr}} (6.9925 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}}) (78 - 68)^\circ\text{F} \\ &= 8,645.82 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 2.1787 \times 10^6 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{gas de colas}} &= m C_p \Delta T \\ &= 2749 \frac{\text{mol}}{\text{hr}} (8.1848 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}}) (320 - 68)^\circ\text{F} \\ &= 5'670,003.8 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}} = 1.4288 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr.}} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{reactivos}} = 8'645.82 + 5'670,003.8 = 5'678,649.7 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 1.4310 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

En el calor de reacción:

$$\begin{aligned} Q_{\text{reacción}} &= m_B \Delta H_{rB} + m_{H_2S} \Delta H_{rH_2S} \\ &= (1.2 \frac{\text{mol}}{\text{hr}}) (4000 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}}) + (15.8 \frac{\text{mol}}{\text{hr}}) (223,230 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}}) \\ &= 3'531,834 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 890.0222 \times 10^6 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

Para los productos es:

$$\begin{aligned} Q_{\text{productos}} &= Q_{\text{reacción}} + Q_{\text{reactivos}} \\ &= 3'531,834 + 5'678,649.7 \\ &= 9'210,483.7 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 2.3210 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

Tenemos que hacer una suposición de temperaturas y calcular con ellas las capacidades caloríficas, para poder obtener el calor en cada caso del gas quemado, el cual debe ser igual al Q de productos anteriormente calculado.

En el momento en que se logra la igualdad, se sabe cual es la temperatura de salida de los gases.

El balance de energía para el gas combustible es necesario y es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Entalpía de Reactivos} &= \text{Entalpía Gas pro-} &+ \text{Entalpía Gas Com-} &+ \text{Entalpía Aire de} \\ &\text{ceso a } 220.9^{\circ}\text{C} &\text{bustión a } 25.5^{\circ}\text{C} &\text{Combustión a } 25.5^{\circ}\text{C} \\ &(429.5^{\circ}\text{F}) &(78^{\circ}\text{F}) &(78^{\circ}\text{F}) \end{aligned}$$

Composición global de la combustión (gas combustión + aire).

Componente	Cantidad (mol/hr)	% mol
CH ₄	0.9604 (X)	7.867
C ₂ H ₆	0.0383 (X)	0.313
C ₃ H ₈	0.0009 (X)	0.007
CO ₂	0.0004 (X)	0.003
O ₂	2.3683 (X)	19.399
H ₂	8.5261 (X)	69.839
H ₂ O	0.3138 (X)	2.570
<u>TOTAL</u>	12.2082 (X)	100.000

El \bar{C}_p a 25.5°C (78°F) = 298.6°K es igual a $7.1321 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}}^{\circ}\text{F}$

$$\begin{aligned} \text{Entalpía [Aire + Gas Combustible]} &= m \bar{C}_p \Delta T \\ &= 12.2082 (X) \frac{\text{lbmol}}{\text{hr}} (7.1321) \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}}^{\circ}\text{F} \\ &\quad (78 - 38)^{\circ}\text{F} \\ &= 870.7 (X) \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}} = 219,416,4 (X) \frac{\text{cal}}{\text{hr.}} \end{aligned}$$

$$\text{Entalpía Gas de Proceso} = 9'210,483.7 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 2,3210 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

$$\text{Entalpía Reactivos} = 9'210,483.7 + 870.7 (X) = 2,3210 \times 10^9 + 219,416,4 (X)$$

Para obtener el calor de reacción global tenemos que:

$$\begin{aligned}
 0.3604 \text{ (X) mol/hr (382,720) BTU/blmol CH}_4 &= 367,564.3 \text{ (X)} = 92.62 \times 10^6 \text{ (x)} \\
 0.0383 \text{ (X) mol/hr (681,400) BTU/lbmol C}_2\text{H}_6 &= 26,097.6 \text{ (X)} = 6.58 \times 10^6 \text{ (x)} \\
 0.0099 \text{ (X) mol/hr (879,404) BTU/lbmol C}_3\text{H}_8 &= 791.5 \text{ (X)} = 0.20 \times 10^6 \text{ (x)} \\
 &= 394,453.4 \text{ (X)} = 99.40 \times 10^6 \text{ (x)}
 \end{aligned}$$

$\frac{\text{BTU}}{\text{hr.}}$
 $\frac{\text{cal}}{\text{hr.}}$

En el gas quemado tenemos.

Componente	Gas Combustible Quemado (mol/hr)	Gas de Proceso Quemado (mol/hr)	Total (mol/hr)
O ₂ (exceso)	0.3089 (X)	3.915	3.915 + 0.3089 (X)
N ₂	8.5261 (X)	1,229.900	1,229.900 + 8.5261 (X)
H ₂ O (reacción)	2.3531 (X)	763.800	763.800 + 2.3531 (X)
CO ₂ (reacción)	1.0397 (X)	733.900	733.900 + 1.0397 (X)
SO ₂	—	26.100	26.100
TOTAL	12.2278 (X)	2,757.615	2,757.615 + 12.2278 (X)

Tendremos que suponer la cantidad de gas combustible que se alimentara y luego emplear éste en el balance de energía y con él checar el calor de reacción contra la diferencia de entalpías entre productos y reactivos. Para así obtener el valor correcto de la alimentación de gas combustible y con ello, cual es la composición del gas de chimenea.

1a. Suposición x = 80 moles

Calculamos las cantidades de cada componente con la última ecuación total.

Componente	mol <u>hr</u>	% mol	C _p	1300 °F = 977.4 °K
O ₂	28.627	0.766	8.2938	0.0635
N ₂	1,911.988	51.180	7.7393	3.9610
H ₂ O	952.048	25.484	9.7556	2.4861
CO ₂	817.076	21.871	12.9556	2.8335
SO ₂	26.100	0.699	12.9087	0.0902
	<u>3,735.839</u>			

$C_p = 9.4343 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}^\circ\text{F}} = \frac{\text{cal}}{\text{grmol}^\circ\text{K}}$

$$\begin{aligned} \text{Entalpia Productos} &= m \bar{C}_p \Delta T \\ &= (3735.839) \frac{\text{mol}}{\text{hr}} (9.4343) \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}} (1300 - 68) \\ &= 43'421,872 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 10.9423 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Entalpia Reactivos} &= 9'210,483.7 + 870.7 (X) \\ &= 9'280,139.7 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 2.3886 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diferencia de Entalpias} &= 43'421,872 - 9'280,139.7 \\ &= 34'141,732 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 8.6037 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Calor de Reacción} &= 394,453.4 (X) \\ &= 31'556,272 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 7.9522 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

Tenemos que.

Diferencia de Entalpias \neq Calor de Reacción

Por lo que habrá que tratar con otro valor para (X).

2o. Suposición X = 75 moles

Componente	$\frac{\text{mol}}{\text{hr}}$	% mol	
O ₂	27.083	0.737	$\bar{C}_p = 9.4485 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}} \text{ } ^\circ\text{F}$ $= 9.4485 \frac{\text{cal}}{\text{grmol}} \text{ } ^\circ\text{K}$
N ₂	1,869.358	50.871	
H ₂ O	940.283	25.588	
CO ₂	811.878	22.094	
SO ₂	26.100	0.710	
Total	3,674.702		

$$\begin{aligned} \text{Entalpia Productos} &= (3,674.702)(9.4485)(1300-68) = 42'775,560 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \\ &= 10.7794 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\text{Entalpia Reactivos} = 9'210,483.7 + 870.7 (75) = 9'275,786.2 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$= 2.3375 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

$$\text{Diferencia} = 33'499,774 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 8.4419 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

$$\text{Calor de Reacción} = 394,453.4 (75) = 29'584,005 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 7.4552 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

es necesario realizar más tanteos.

3a. Suposición X = 90 moles

Componente	$\frac{\text{mol}}{\text{hr}}$	% mol	
O ₂	32.716	0.822	
N ₂	1,997.249	51.767	
H ₂ O	975.579	25.286	Cp = 9.4074 $\frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}} \text{ } ^\circ\text{F}$
CO ₂	827.473	21.448	= 9.4074 $\frac{\text{cal}}{\text{grmol}} \text{ } ^\circ\text{K}$
SO ₂	<u>26.100</u>	0.676	
Total	3,958.117		

$$\text{Entalpia Productos} = 44'715,255 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 11.2682 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

$$\text{Entalpia Reactivos} = 9'288,846.7 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 2.3408 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

$$\text{Diferencia} = 35'426,408 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 8.9274 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

$$\text{Calor de Reacción} = 35'500,805 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 8.946 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

4a. Suposición X = 89.7 moles

Componente	$\frac{\text{mol}}{\text{hr}}$	% mol	
O ₂	31.623	0.820	
N ₂	1,994,691	51.750	
H ₂ O	974,873	25.292	$\bar{C}_p = 9.4081 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}} ^\circ\text{F}$
CO ₂	827.161	21.460	
SO ₂	26.100	0.677	
Total	3,854.448		

Entalpía Productos = 44'676,056 $\frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$ = 11.2584 x 10⁹ $\frac{\text{cal}}{\text{hr}}$

Entalpía Reactivos = 9'288,535.5 $\frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$ = 2.3407 x 10⁹ $\frac{\text{cal}}{\text{hr}}$

Diferencia = 35'387,471 $\frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$ ←
 = 8.9176 x 10⁹ $\frac{\text{cal}}{\text{hr}}$ ←
 Calor de Reacción = 35.382,470 $\frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$ ←
 = 8.9164 x 10⁹ $\frac{\text{cal}}{\text{hr}}$ ←

Muy Semejantes

El error entre ambos valores, considerando como base la diferencia - de entalpías es el siguiente:

$$\text{Error} = \left(1 - \frac{35'382,470}{35'387,471} \right) \times 100 = 0.01413 \%$$

Debido a que el error es muy pequeño se pueda aceptar que la cantidad de gas combustible que se alimenta al sistema es de 89.7 moles y con ésta podremos concluir nuestro capítulo.

Para obtener la composición y cantidad de los gases de chimenea 4 tenemos:

Componente	$\frac{\text{mol}}{\text{hr}}$	Fracción mol	$\frac{\text{lb}}{\text{hr}}$	
O ₂	31.623	0.00820	1,011.936	
N ₂	1,394.691	0.51750	55,851.348	$\overline{PM} = 29.18064 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$
H ₂ O	974.873	0.25292	17,547.714	
CO ₂	827.161	0.21460	36,395.084	
SO ₂	<u>26,100</u>	0.00677	<u>1,670.400</u>	
Total	3,854.448	4 =	112,476.480	
				= 51,018.996 $\frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$

Como se mencionó al principio del apéndice, la cantidad de gas combustible inyectado al sistema, se obtuvo mediante pruebas de tanteo y error, de los balances de energía. Y después de aproximadamente 3 tanteos se logró un resultado de 89.7 moles, sin embargo para ahorrar espacio sólo -- se presentarán 4 suposiciones ya que la secuencia de cálculo es la misma.

El valor antes reportado como la cantidad de gas de chimenea, fue el -- considerado como correcto ya que el error o diferencia entre el gasto calórico provocado por el calor de combustión y el resultante de la suma de entalpías es de aproximadamente 0.01413 %.

Consideramos que es un volumen alto de emisión por lo cual habrá que -- verificar con los modelos de difusión que dispersión se logra.

APENDICE D
DESCRIPCION DEL INCINERADOR Y CHIMENEA

1) INCINERADOR

Comenzaremos por describir el incinerador en sus características físicas principales, así como algunas características de funcionamiento.

El incinerador de gas residual es de tiro natural. Tiene ocho quemadores que están distribuidos en dos juegos de cuatro quemadores y un piloto en cada uno. Los juegos de quemadores están montados de dos en dos boquillas de 0.6096 m (24 in) que están horizontalmente separados 180 grados.

Los pilotos son 0.019 m (3/4 in), de tipo de "punta caliente". Esto es que cuando se ajustan correctamente, la cabeza del piloto se calentará hasta un rojo cereza de color ligero. Este tipo de piloto da lo mejor en estabilidad de pilotos en temperaturas de climas extremos. Los pilotos están diseñados para proporcionar una operación satisfactoria con presiones de gas desde 0.99 hasta 1.75 Kg/cm², -- (3 hasta 25 lb/in²).

El ajuste del piloto se logra moviendo el collar ajustador del aire para causar que la flama del piloto se quemé dentro de la cabeza de encendido del piloto.

El incinerador también cuenta con un arrestador de llama como dos funciones, como arresta llamas y como conjunto del quemador. La cubierta está adaptada para montarse en brida a los tubos de fuego -- con superficie de empaquetadura para proporcionar un sello positivo contra fugas de llamas. El corazón del arrestador de llamas son cuatro celdas resistentes a la corrosión, de aluminio de peso ligero. Cada celda está formada de capas alternadas en espiral y roladas en dos tubos de 0.2032 m (8 in) y dos de 0.4572 m (18 in), de tal manera que proporcionan conductos de tamaño exacto, para permitir un --

flujo adecuado de aire a los quemadores, para la combustión del gas combustible, mientras que protegen efectivamente contra cualquier propagación de flama que pudiera ocurrir. La masa de la celda y su alta conductividad térmica son suficientes para conducir la energía térmica disipándola a tal velocidad que cualquier flamazo o llama se apaga por este enfriamiento rápido.

El incinerador tiene dos boquillas de 0.4064 m (16 in) para el aire de combustión. Están separadas horizontalmente 180 grados entre ellas y a 90 grados separadas de las boquillas de los quemadores. Las boquillas del aire tienen una compuerta para variar el flujo.

Cuando se desean hacer ajustes a los quemadores o al piloto encendido el banco de celdas de flama no necesita sacarse, ya que las celdas frente al arresta-llamas tienen un agujero de 0.4572 m (18 in) de diámetro, que sirve de entrada de hombre.

Un atisbadero o portillo de mirilla está instalado en la tapa del agujero de 0.4572 m (18 in), esta tapa se puede girar a cualquier posición para permitir ver toda el área de quemador y piloto mientras están ardiendo.

Dentro del incinerador una parte importante que debe ser mencionada son los sistemas de protección y control eléctrico y neumático. Entre los primeros encontramos: el sistema de salvaguardia de flama; la varilla de flama y el sistema de parada.

- El primero es en base a un relevador detector de flama de estado sólido que contiene un transformador, un circuito amplificador de señal de detector de flama y un relevador de flama.

La unidad usa varilla de flama montada en el conjunto del piloto. Los -- contactos entre las terminales estan cerrados en presencia de flamas, -- cuando los contactos entre terminales estan abiertos, el relevador está desenergizado y se abren los contactos de las válvulas solenoides en la línea de gas combustible a los pilotos, desenergizándose, cerrandose y - se apagan las luces indicadoras de que los pilotos están encendidos.

- La varilla de flama es una vigilancia de los pilotos, que es de fácil -- montaje, no requiere claridad óptica y es muy compatible con el tipo de piloto.

En presencia de flama, la varilla de flama permite que una corriente rec tificada fluya a través de una red electrónica. Esta corriente se amplifica y energiza el relevador de flama.

- El sistema de parada es un sistema que produce el paro de la unidad por dos razones diferentes:

- a) Falla de flama.
- b) Alta temperatura en la chimenea

Como antes se explicó en presencia de flama, los contactos entre terminales de los detectores de flama están cerrados. Al fallar la flama estos - contactos se abren y se desenergiza el sistema de relevador y válvulas -- solenoides, cerrándose estas últimas, con su señal al tablero.

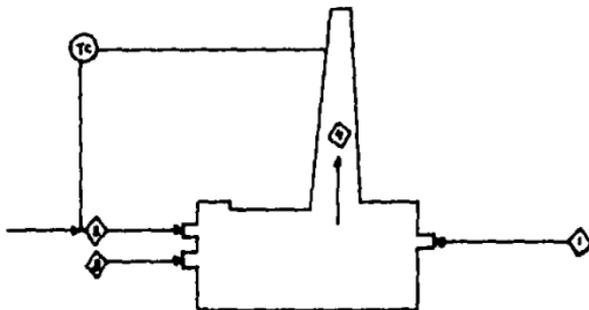
El interruptor de temperatura normalmente está cerrado, pero cuando la -- temperatura de la chimenea es alta, éste se abre. Desenergizándose un relevador el cuál a su vez abre contactos y desenergiza válvulas

solenoides, cerrando el flujo de gas combustible a los quemadores.

-El sistema neumático de control es de tipo paralelo al de tipo eléctrico y trabaja bajo las mismas bases generales, únicamente que en -- lugar de desenergizarse, los instrumentos se descargan en su presión de aire y las válvulas son de control las cuáles abren o cierran de-- pendiendo de la situación.

Por último antes de entrar a los balances del incinerador y chimenea, es importante mencionar que bajo condiciones normales de operación, - la temperatura en la cámara del incinerador es de 704.4°C ($1\ 300^{\circ}\text{F}$), con 15% de exceso de aire. La temperatura es controlada con un indica dor controlador de temperatura. El punto de ajuste del interruptor de alta temperatura en la chimenea es de 815.5°C ($1\ 500^{\circ}\text{F}$). El punto - de ajuste del regulador de presión es aquél con el que se obtenga una presión de gas combustible a los quemadores de $1.40\ \text{Kg}/\text{cm}^2$ man. ($20\ \text{-- lb}/\text{pulg}^2$ man.).

Para fines prácticos de verificación de todos los datos en las corrientes de entrada y salida en el incinerador tenemos el siguiente esquema:



NOMENCLATURA

- ① Gas de Colas
- ② Gas Combustible
- ③ Gas de Combustión
- ④ Gas de Chimenea

- ALIMENTACION

GAS DE COLAS

$$PM = PM_S X_S + PM_{H_2S} X_{H_2S} + PM_{SO_2} X_{SO_2} + PM_{H_2O} X_{H_2O} + PM_{N_2} X_{N_2} + PM_{CO_2} X_{CO_2}$$

$$PM = 32(0.0004) + 34(0.0057) + 64(0.0029) \\ + 18(0.2766) + 28(0.4474) + 44(0.2670)$$

$$PM = 29.6462 \frac{lb}{lbmol}$$

$$\text{Entran al incinerador } 2,749.0 \frac{mol}{hr} \times 29.6462 \frac{lb}{lbmol} = 81,497.404 \frac{lb}{hr} = 36,966.9 \frac{kg}{hr}$$

a 320 °F. = 160 °C

Su composición es:

Componente	Porcentaje en Mol
S, S ₂ , S ₆ , S ₈	0.04
H ₂ S	0.57
SO ₂	0.29
H ₂ O	27.66
N ₂	44.74
CO ₂	26.70
T O T A L	100.00

GAS COMBUSTIBLE

$$PM = PM_{CH_4} X_{CH_4} + PM_{C_2H_6} X_{C_2H_6} + PM_{C_3H_8} X_{C_3H_8} + PM_{CO_2} X_{CO_2}$$

$$PM = 16(0.9604) + 30(0.0383) + 44(0.0009) + 44(0.0004)$$

$$PM = 16.5726 \frac{lb}{lbmol}$$

De acuerdo a los resultados de los Balances de Materia y Energía deben entrar al incinerador.

$$89.7 \frac{mol}{hr} \times 16.5726 \frac{lb}{lbmol} = 1,486.5622 \frac{lb}{hr} \text{ a } 78^{\circ}F$$

$$= 674.3 \frac{Kg}{hr} \text{ a } 25.5^{\circ}C$$

con composición igual a:

Componente	Porcentaje en Mol
C H ₄	96.04
C ₂ H ₆	3.83
C ₃ H ₈	0.09
CO ₂	0.04
T O T A L	100.00

AIRE DE COMBUSTION

$$\text{Con } PM = PM_{O_2} X_{O_2} + PM_{N_2} X_{N_2} + PM_{H_2O} X_{H_2O}$$

$$PM = 32(0.2113) + 28(0.7607) + 18(0.0280)$$

$$PM = 28.5652 \frac{lb}{lbmol}$$

Es necesario que entre al incinerador, ya incluyendo el 15% de exceso en oxígeno.

$$123.60 \frac{\text{mol}}{\text{hr}} \times 28.5652 \frac{\text{lb}}{\text{mol}} = 3,530.6587 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} = 1,601.4962 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

a 25.5 °C (78 °F) y composición:

Componente	Porcentaje en Mol
O ₂	21.13
N ₂	76.07
H ₂ O	2.80
T O T A L	100.00

SALIDA DE PRODUCTOS

GAS DE CHIMENEA O QUEMADO

$$PM = PM_{O_2} X_{O_2} + PM_{N_2} X_{N_2} + PM_{H_2O} X_{H_2O} + PM_{CO_2} X_{CO_2} + PM_{SO_2} X_{SO_2}$$

$$PM = 32(0.00820) + 28(0.51750) + 18(0.25292) + 44(0.21460) + 64(0.00677)$$

$$PM = 29.18064 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$$

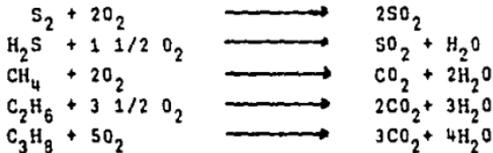
Salen del incinerador 51,018.996 Kg/hr (112,476.480 $\frac{\text{lb}}{\text{hr}}$) de gas quemado a 704.4 °C (1300 °F), que reduce su temperatura en el trayecto de salida - al medio ambiente, con la siguiente composición.

Componente	Porcentaje en Mol
O ₂	0.820
N ₂	51.750
H ₂ O	25.292
CO ₂	21.460
SO ₂	0.677
T O T A L	100.000

El calor de reacción en el incinerador es de :

$$Q_R = 35'382,470 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 8.9164 \times 10^9 \frac{\text{cal}}{\text{hr}}$$

debido a que $Q_{\text{reacción}} = Q_{\text{productos}} - Q_{\text{reactivos}}$.



b) CHIMENEA

Para el caso de la chimenea podemos mencionar que es una chimenea de tipo natural con las dimensiones siguientes:

Diámetro externo de columna 2.4384 m (96 in)

Diámetro interno de columna 2.3209 m (91.375 in)

Espesor de la pared	0.0079 m (0.3125 in)
Espesor del aislamiento	0.0508 m (2 in)
La altura física de la Chimenea es de	21.336 m (70 in)

Aunque sí se quiere abatir más aún la concentración máxima a nivel del suelo se sugiere elevar la altura de la chimenea.

Esta chimenea tiene un control interruptor de temperatura el cual -- cierra o abre válvulas de alimentación del gas combustible manteniendo la temperatura de operación normalmente entre 648.9°C (1200°F) y 704.4°C (1300°F).

Algunos detalles del conjunto incinerador-chimenea se pueden observar en las figuras anexas al presente capítulo, (fig. D.1 y D.2).

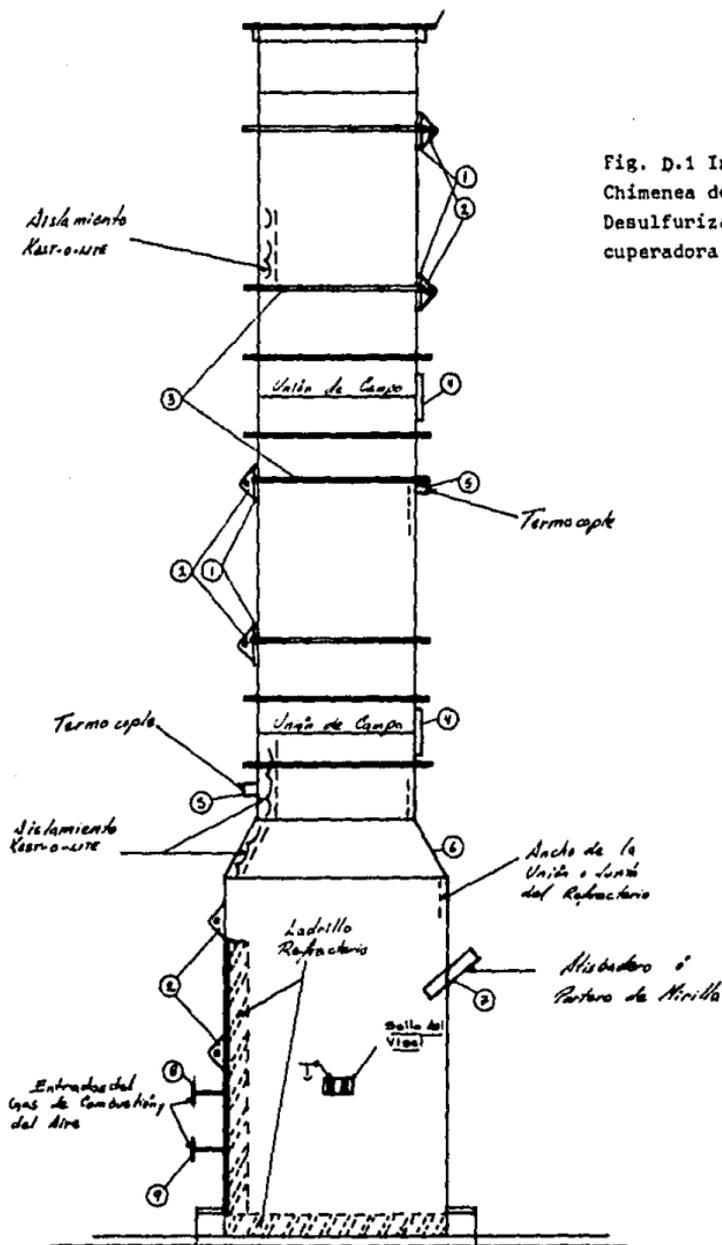


Fig. D.1 Incinerador-Chimenea de la Planta Desulfurizadora y Recuperadora de Azufre.

Figura D.2 Detalles de algunas partes importantes dentro del conjunto Incinerador-Chimenea.

