

Influencia que Tienen las Condiciones Meteorológicas y los Parámetros de Diseño de Chimeneas en la Dispersión de Contaminantes en el Aire

Vera Figueroa, Juan; Patiño Aroca, Mario; Barriga Rivera, Alfredo
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral, Casilla 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.
Email: jpverafigueroa@yahoo.com, mpatino@espol.edu.ec, abarriga@espol.edu.ec

Resumen

Este trabajo muestra los aspectos más destacados del análisis realizado a diferentes parámetros que influyen sobre la dispersión de contaminantes en el aire. El análisis se desarrolla en base a las emisiones generadas por un caldero de 200 hp, y descargadas al medio ambiente a través de una chimenea de 10 m de altura y 0.5 m de diámetro interno.

Se toma en consideración variables como, la velocidad del viento, la temperatura de salida de los gases y las condiciones de estabilidad atmosférica. Se examina también la forma en que la utilización de las ecuaciones de Briggs, Concawe, Holland y Carson & Moses, empleadas en la determinación del incremento en la altura de la pluma en la chimenea, afectan a la concentración de contaminantes cuando se aplican en modelos de dispersión.

Con la finalidad de brindar la información en una forma adecuada, se incluyen gráficos y comentarios, tanto sobre los resultados obtenidos, como sobre los conceptos básicos que rigen la dispersión de sustancias contaminantes en el aire. Aunque se analizan parámetros que son importantes para el modelaje de dispersión de contaminantes, es necesario señalar que este campo es complejo, e intervienen también factores adicionales, fuera del alcance del presente trabajo.

Palabras Claves: Chimeneas, Contaminación, Dispersión, Concentración, Gauss.

Abstract

This work shows the most outstanding aspects in the analysis carried out to different parameters that influence on the dispersion of pollutants in the air. The analysis is developed based on the emissions generated by a boiler of 200 hp, and discharged to the environment through a chimney of 10 m of height and 0.5 m of internal diameter.

It's taken in consideration variables as, the speed of the wind, the exit temperature of the gases and the conditions of atmospheric stability. It is also examined the form that the use of the equations of Briggs, Concawe, Holland and Carson & Moses, utilized in the determination of the increment in the height of the stack's plume, affects the concentration of pollutants when they are applied in dispersion models.

With the purpose of offering the information in convenient form, graphics and comments are included, as much about the obtained results, as about the basic concepts that govern the dispersion of pollutant substances in the air. Although parameters analysed are important for the modelling of dispersion of pollutants, it is necessary to point out that this field is complex, and additional factors, out of reach of the present work, intervene too.

1. Introducción

En el campo de la contaminación del aire es de gran interés conocer o por lo menos estimar, el comportamiento que tendrán los gases emitidos desde una determinada fuente; la técnica empleada para este propósito es conocida como modelación de dispersión de contaminantes. Al respecto, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés), ha desarrollado modelos matemáticos que son aplicables a diversas situaciones de interés.

Aunque existe una cantidad importante de software para llevar a cabo la modelación de la dispersión de contaminantes, resulta adecuado hacer un análisis sobre cómo se ven afectados los modelos de dispersión, cuando varían parámetros tales como la altura de la chimenea o las condiciones meteorológicas, e inclusive, cuando se utiliza una u otra ecuación para determinar el incremento en la altura de los gases a la salida de la chimenea.

Estos aspectos se tratan a continuación, y para ello, con fines ilustrativos, se utilizará información tomada de una fuente típica contaminante como es la operación de un caldero utilizado para generar vapor; la sustancia contaminante en análisis será el dióxido de azufre (SO₂).

2. Metodología

Para realizar este trabajo, se toman los datos operacionales de un caldero de 200 hp, cuyo consumo de combustible es de 35 gal/h de Fuel Oil #6, y que genera un flujo másico de gases de 5000 kg/h; se conoce además que los gases son descargados libremente al ambiente a través de una chimenea de 10 m de altura y 0.5 m de diámetro interno.

Con los datos del caldero, se procede a determinar la concentración de SO₂ en diferentes puntos localizados desde la fuente, con lo cual se puede establecer la forma en que varía la concentración con el incremento de la distancia.

Para establecer la influencia de los diferentes parámetros que intervienen en la dispersión de contaminantes, se toman diferentes valores para las variables que más influyen en la concentración; las variables consideradas en el análisis son: el contenido de azufre en el combustible, la temperatura de salida de los gases, la velocidad de salida de los gases, la velocidad del viento, la altura de la chimenea, y las condiciones de estabilidad atmosférica; adicionalmente, se analiza la influencia que tiene aplicar una u otra ecuación en el cálculo del incremento en la altura de la pluma de la chimenea.

Para desarrollar el trabajo, y dependiendo de la variable en análisis, algunos parámetros se mantienen fijos; los valores tomados en tales casos, son los que se tienen en condiciones reales. Normalmente la

temperatura de descarga de los gases para la chimenea tomada como referencia, es de aproximadamente 400 K. En Guayaquil, la velocidad predominante del viento es en la dirección Sur – Oeste (SW); se tomará su magnitud promedio en 3.5 m/s y se considerará la estabilidad tipo C como la principal en el análisis. Todos los valores de concentración serán hallados para terreno tipo urbano.

Finalmente, se muestra gráficamente la influencia de los parámetros mencionados, con lo cual se procede a establecer las principales conclusiones del presente trabajo.

3. Resultados

3.1. Dispersión de contaminantes en el aire

Los modelos más utilizados en la dispersión de contaminantes en el aire, se basan en la distribución de Gauss. Esto es, existe una forma matemática de expresar la concentración de los contaminantes emitidos desde una fuente, de tal manera que existirá una región de mayor concentración y dos zonas simétricas en las que ésta irá disminuyendo paulatinamente hasta alcanzar un valor mínimo.

En términos de la dispersión de contaminantes en el aire, la distribución Gaussiana puede expresarse por medio de la siguiente ecuación

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_x \sigma_y} \exp\left[\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

donde las coordenadas 'x', 'y', 'z' son las distancias axial, transversal y vertical, relativas a la posición de la chimenea y en la dirección hacia donde sopla el viento, Q es la tasa de emisión, u es la velocidad del viento a la altura efectiva de la chimenea, H es la altura efectiva de la chimenea, y los valores de σ corresponden a las desviaciones estándar de la distribución de Gauss. Con la ecuación descrita se procede a determinar la concentración a diferentes distancias desde la fuente, despreciando los efectos de reflexión. Contaminantes como SO₂, NO_x y partículas pueden ser absorbidos por el suelo, en cuyo caso es válido asumir que no existe reflexión.

Por ejemplo, si se quiere conocer la concentración a una distancia de X = 60 m desde la fuente, sobre el eje central (Y = 0 m) y a nivel del suelo (Z = 0 m), a las condiciones comunes de operación (T = 400 K, U = 3.5 m/s, Q = 1.29 g/s y estabilidad C), las ecuaciones para terreno tipo urbano, utilizadas para hallar σ_y y σ_z , resultan

$$\sigma_y = 0.22 \cdot X \cdot (1 + 0.0004 \cdot X)^{-1/2} = 13.04$$
$$\sigma_z = 0.20 \cdot X = 12$$

Si se utilizan las ecuaciones de Briggs para hallar el incremento en altura de la pluma de la chimenea, es necesario evaluar primero el parámetro de boyantez F_b , el cual da como resultado

$$F_b = g \cdot V_s \cdot d_s^2 \cdot (T_s - T_a) / (4 \cdot T_s) = 1.225$$

Las ecuaciones de Briggs requieren también que se compare el valor obtenido de F_b con el valor $55 \text{ m}^4/\text{s}^3$. Para valores de F_b por debajo de $55 \text{ m}^4/\text{s}^3$, la ecuación recomendada por Briggs para hallar el parámetro ΔT_c es la siguiente

$$\Delta T_c = 0.0297 \cdot T_s \cdot V_s^{1/3} / d_s^{2/3} = 37.71 \text{ K}$$

Para conocer si la pluma es dominada por la boyantez o por el momentum, se compara el valor hallado con la variación de temperatura de los gases respecto al aire ambiente $\Delta T = 100 \text{ K}$; en este caso, $\Delta T_c < \Delta T$, por lo cual el incremento de altura Δh se calcula como

$$\Delta h = 21.425 \cdot F_b^{3/4} / U_s = 6.21 \text{ m}$$

Entonces la altura efectiva de la chimenea será $H = 16.21 \text{ m}$, con lo cual solo resta por conocer el valor de U a esa altura; para ello se utiliza la siguiente ecuación

$$U = U_{5m} \cdot (H/5)^p = 4.43 \text{ m/s}$$

donde el valor de p ha sido tomado como 0.2 para el caso de estabilidad C y terreno urbano.

Conociendo las cantidades encontradas, se procede a hacer el cálculo de la concentración con la ecuación para la distribución Gaussiana, resultando:

$$C = \frac{1.29 \times 10^6}{2\pi(4.43)(13.04)(12)} \exp[0] \exp\left[\frac{-(0-16.21)^2}{2 \cdot 12^2}\right]$$

$$C(60,0,0) = 119.01 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$$

El procedimiento es el mismo para cada uno de los puntos (x,y,z) en estudio; el valor encontrado aparece en las tablas 2, 3, 4, 5 y 7 que se presentan en este trabajo, siempre y cuando las condiciones de análisis sean las mismas que se utilizaron en estos cálculos.

3.2. Influencia del tipo de combustible

En la industria son utilizados comúnmente combustibles poco refinados, como son el Fuel Oil #6, el Fuel Oil #4 y el Diesel 2. Los combustibles mencionados presentan contenidos de azufre de 2.15%, 1.97% y 0.34% respectivamente; del azufre

contenido en el combustible, se asume que el 90% se transformará en SO_2 .

Entonces, dada la variabilidad de la calidad de los combustibles, el análisis de la variación de la concentración, según el contenido de azufre, se hace con tres valores fijados arbitrariamente en 2.3 %, 2 % y 0.3 %. Se determinó que la concentración de SO_2 respecto al contenido de azufre en el combustible, varía según se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Variación según el contenido de azufre

X (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	S = 0.3%	S = 2%	S = 2.3%
0	0.00	0	0
15	0.00	0.00	0.00
30	4.28	28.56	32.84
45	14.48	96.56	111.04
60	16.61	110.71	127.32
75	14.80	98.67	113.47
90	12.32	82.14	94.46
105	10.11	67.39	77.50
120	8.32	55.48	63.81
135	6.92	46.12	53.04
150	5.81	38.77	44.58
165	4.94	32.95	37.90
180	4.25	28.31	32.55

En la figura 1 se muestra la curva de concentración a lo largo del eje X, es decir en la dirección hacia dónde se considera que sopla el viento.

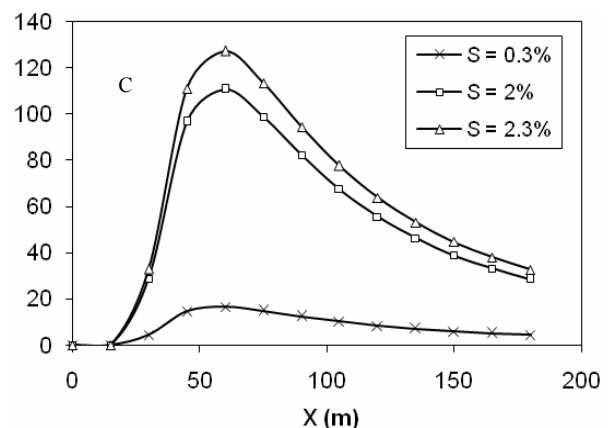


Figura 1. Influencia del contenido de azufre.

Puede notarse entonces que la concentración de SO_2 varía en forma directamente proporcional según el contenido de azufre en el combustible, y básicamente no se registra un desplazamiento del punto máximo de concentración, sino que se mantiene en unos 60 m, siempre y cuando se mantengan fijas las otras variables. Este comportamiento se atribuye a la relación directamente proporcional dada en la

ecuación de Gauss, entre la concentración y el flujo másico del contaminante (C vs Q).

3.3. Influencia de la temperatura de salida

Cuanta más alta es la temperatura de salida de los gases, mayor será la flotabilidad de éstos, y por lo tanto, ascenderán a una mayor altura a la que normalmente alcanzarían por efecto de la velocidad a la que son expulsados.

En el análisis que se hace en esta sección, se consideran temperaturas de 350 K, 400 K, y 475 K, para los gases de descarga a la salida de la chimenea; es decir se analiza la situación cuando los gases salen a temperaturas que pueden considerarse bajas, normales y altas. Para efectos de evaluar aisladamente el efecto de la temperatura, no se consideró el incremento de velocidad debido a la expansión térmica de los gases.

Tabla 2. Variación con la temperatura de salida

X (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	T = 350K	T = 400K	T = 475K
0	0	0	0
15	0.08	0.00	0.00
30	77.24	30.70	10.98
45	158.89	103.80	64.85
60	153.09	119.01	90.38
75	125.89	106.07	88.17
90	100.31	88.30	77.08
105	80.16	72.44	65.14
120	64.87	59.64	54.67
135	53.30	49.58	46.05
150	44.42	41.67	39.07
165	37.53	35.42	33.45
180	32.09	30.43	28.88

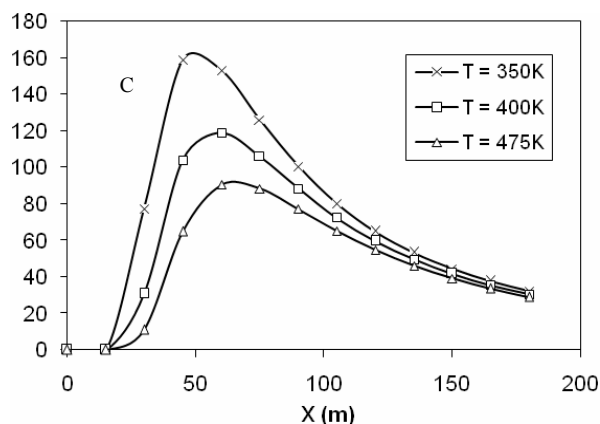


Figura 2. Influencia de la temperatura.

En la figura 2, es posible observar que aún manteniendo fijo el contenido de azufre en el combustible, la temperatura de salida de los gases

tiene un efecto importante sobre la concentración de SO_2 . Cuando los gases salen muy “fríos”, la concentración es más alta en la zona cercana a la chimenea; el valor máximo tiende a permanecer en el mismo sitio, pero la concentración varía. A esto debe añadirse, que cuando se tienen altas temperaturas, la concentración disminuye a lo largo del eje hacia donde apunta el viento, lo cual sugiere que hay una mejor dispersión de los contaminantes, incluso en la dirección transversal.

3.4. Influencia de la velocidad de los gases

De manera similar al efecto de boyantez originado por la temperatura de los gases, la velocidad a la cual éstos son emitidos desde una chimenea produce un efecto de inercia, cuyo resultado es el incremento en la altura de la pluma de gases.

La velocidad de los gases está determinada por la tasa a la cual son generados desde una determinada fuente de combustión, no obstante, en un sistema dado la velocidad de salida puede modificarse mediante la variación del diámetro interno de la chimenea.

Tabla 3. Variación con la velocidad de salida

X (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	$V_s = 6 \text{ m/s}$	$V_s = 7 \text{ m/s}$	$V_s = 8 \text{ m/s}$
0	0	0	0
15	0.02	0.01	0.00
30	52.54	40.16	30.70
45	132.94	117.45	103.80
60	137.71	128.00	119.01
75	117.11	111.43	106.07
90	95.03	91.58	88.30
105	76.77	74.56	72.44
120	62.58	61.08	59.64
135	51.66	50.60	49.58
150	43.22	42.43	41.67
165	36.60	36.00	35.42
180	31.36	30.88	30.43

El análisis desarrollado asume que las condiciones de operación y características físicas del sistema de combustión, incluidos el diámetro de la chimenea y la tasa de emisión, se mantienen constantes, esto con excepción del flujo de gases y por ende la velocidad de salida de los mismos.

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos del análisis, los mismos que son presentados también gráficamente en la figura 3.

A partir de los resultados mostrados se observa que a mayor velocidad de salida, las concentraciones a nivel del suelo son menores. Siendo así, para obtener una buena dispersión de gases, es deseable mantener altas velocidad de salida de los gases de escape.

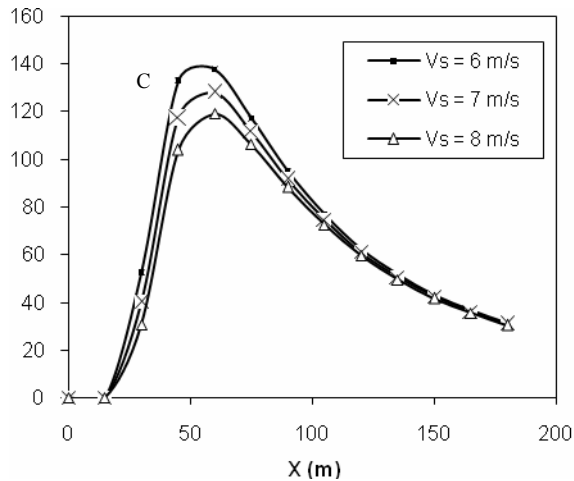


Figura 3. Influencia de la velocidad de salida.

3.4. Influencia de la velocidad del viento

Aunque en Guayaquil, la velocidad del viento es predominante en la dirección sur oeste, se debe mencionar que durante el año se registran todas las direcciones posibles, y que las magnitudes pueden ir desde la calma (velocidad cero), hasta valores altos que pueden ser no muy frecuentes.

Por tal motivo, se hace el análisis para velocidades de 1 m/s, 2 m/s y para un valor asumido como promedio de la velocidad que se registra en la ciudad, 3.5 m/s. Los valores de concentración obtenidos son presentados en la tabla 4, y posteriormente presentados gráficamente.

Tabla 4. Variación con la velocidad del viento

X (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	$U' = 1 \text{ m/s}$	$U' = 2 \text{ m/s}$	$U' = 3.5 \text{ m/s}$
0	0	0	0
15	0.00	0.00	0.00
30	0.00	4.65	30.70
45	3.23	59.55	103.80
60	27.56	108.79	119.01
75	62.21	120.30	106.07
90	85.79	112.58	88.30
105	95.43	99.12	72.44
120	95.73	85.44	59.64
135	91.11	73.28	49.58
150	84.38	63.00	41.67
165	77.05	54.45	35.42
180	69.90	47.37	30.43

A partir de la figura 4, se puede establecer que la velocidad del viento debe ser preferiblemente alta; sin embargo, es posible notar que el efecto no es muy marcado en la zona próxima a la chimenea. Esto se

debe en parte a que en las ecuaciones de Briggs (con las cuales se hace el análisis), el incremento en la altura de la pluma es inversamente proporcional a la velocidad del viento, y por lo tanto a menores valores de este parámetro, mayor será el incremento de altura, y por consiguiente la concentración disminuirá. No obstante, la inclusión de la velocidad del viento en el divisor de la ecuación de Gauss tiene el efecto contrario, lo cual sugiere que el efecto principal de la velocidad del viento se da sobre el incremento en la altura de la pluma de gases.

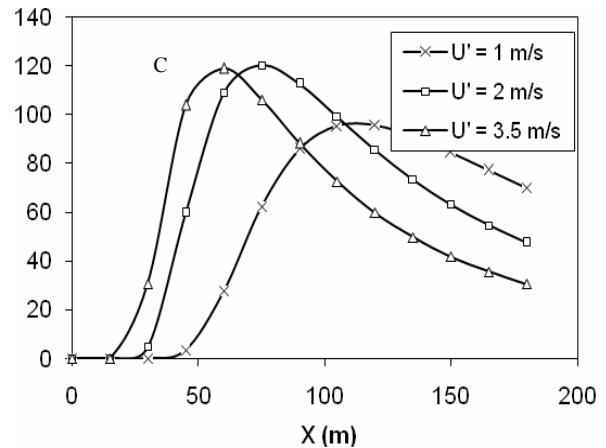


Figura 4. Influencia de la velocidad del viento

De todas formas, las velocidades altas del viento siguen siendo favorables para una buena dispersión, pues se nota gráficamente que a bajas velocidades, la concentración tiende a permanecer alta en la dirección X, mientras que en los casos restantes se obtiene una dilución rápida.

3.5. Influencia de la altura de la chimenea

La altura de la chimenea es un parámetro muy importante cuando se quiere tener una buena dispersión; para determinar su efecto se analiza alturas de chimenea de 10, 20 y 30 m, obteniéndose los datos de la tabla 5.

Al graficar la concentración obtenida a las alturas de chimenea establecidas (figura 5), se puede notar lo mucho que influye éste parámetro en la dispersión a nivel del suelo.

Los resultados obtenidos indican que, cuando se desea mantener baja la concentración de contaminantes, en los sitios que se verían afectados por este tipo de fuentes, una buena opción es construir chimeneas con altura suficiente para una buena dispersión.

Se puede notar que hay un desplazamiento del punto máximo de concentración, obteniéndose valores más bajos y más alejados, para mayores alturas de chimenea; cabe señalar, que al incrementar la altura, también aumenta la velocidad del viento en la zona de

descarga de los gases, lo cual es beneficioso como ya se había mencionado.

Así también debe destacarse la relación cuadrática existente entre la concentración del contaminante y la altura efectiva de la chimenea (C vs H^2), esto último en la ecuación de Gauss.

Tabla 5. Variación con la altura de chimenea

X (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	H = 10m	H = 20m	H = 30m
0	0	0	0
15	0.00	0.00	0.00
30	30.70	0.14	0.00
45	103.80	8.94	0.24
60	119.01	28.81	3.63
75	106.07	41.43	10.75
90	88.30	44.71	17.18
105	72.44	42.91	20.89
120	59.64	39.11	22.20
135	49.58	34.85	21.99
150	41.67	30.80	20.95
165	35.42	27.16	19.54
180	30.43	24.00	18.01

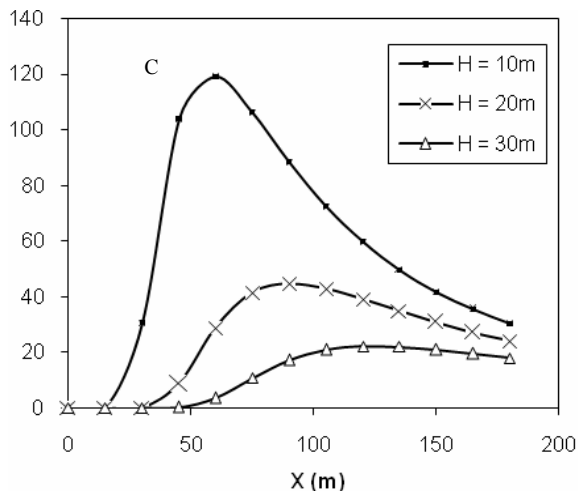


Figura 5. Influencia de la altura de chimenea

3.6. Influencia de la estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica se refiere a las condiciones de mezclado o movimiento vertical; en ello, mucho tiene que ver el gradiente de temperatura y el grado de turbulencia que genera el viento.

Los grados de estabilidad se definen por letras, desde la A (muy inestable) hasta la F (estable). Una atmósfera es inestable cuando hay una buena mezcla vertical, y es estable cuando esto no se produce; el hecho de que se tenga una atmósfera estable o no,

depende principalmente de la incidencia del sol sobre la superficie terrestre.

Tabla 6. Variación con la estabilidad atmosférica

X (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	0	0	0
40	97	97	85	14	0	0
80	70	70	100	98	0	0
120	37	37	60	88	0	0
160	22	22	37	66	0	0
200	14	14	25	50	0	1
240	10	10	18	38	1	2
280	7	7	14	31	1	3
320	6	6	11	25	2	5
360	4	4	8	21	3	6
400	4	4	7	18	3	7
440	3	3	6	15	4	7
480	2	2	5	14	5	8
520	2	2	4	12	5	8
560	2	2	4	11	5	9
600	2	2	3	10	6	9
640	1	1	3	9	6	9
680	1	1	3	8	6	9
720	1	1	2	7	6	9
760	1	1	2	7	6	9
800	1	1	2	6	6	9
840	1	1	2	6	6	9

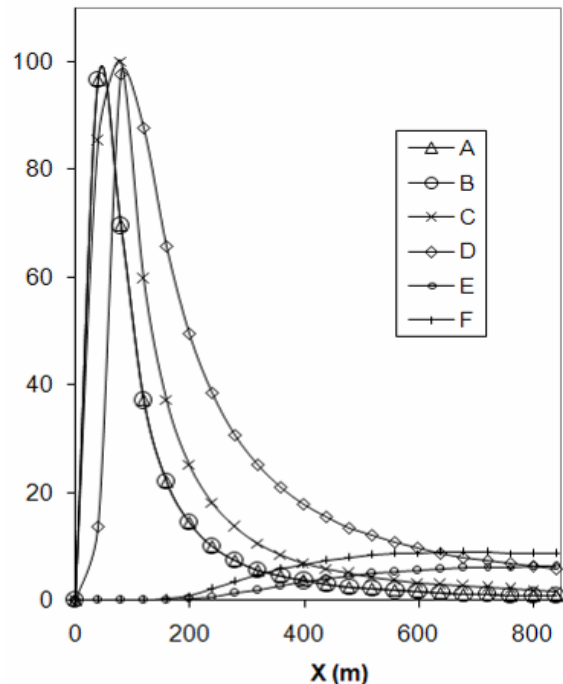


Figura 6. Influencia de la estabilidad atmosférica
Manteniendo fijas las variables principales, y permitiendo cambios en la estabilidad atmosférica se

obtiene que el perfil de concentración varía según se muestra en la tabla 6.

De la figura 6, se puede establecer que cuando una atmósfera es inestable, las mayores concentraciones se presentan a distancias cortas desde la fuente emisora. El tipo de estabilidad C, para las condiciones establecidas, es el que presenta mayores problemas con la concentración en la parte cercana a la chimenea, mientras que para las estabilidades D, E y F, la concentración se mantiene en todo momento por debajo de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero tiende a permanecer aún a grandes distancias.

3.7. Influencia de las ecuaciones utilizadas en el cálculo del incremento de altura de la pluma

Para calcular el incremento en la altura de la pluma de la chimenea, existen diversas ecuaciones que se han desarrollado en el transcurso de los años.

Las ecuaciones de Briggs, han sido utilizadas ampliamente en los modelos de dispersión de la EPA, sin embargo, ecuaciones desarrolladas anteriormente, como las de Concawe, Holland, y Carson&Moses son también importantes cuando las condiciones se ajustan a aquellas bajo las cuales fueron obtenidas tales ecuaciones. La validez de estas últimas (Concawe, Holland y Carson&Moses) radica en que fueron desarrolladas en base a la observación de un número importante de chimeneas, sin embargo no consideran ciertos parámetros como la estabilidad atmosférica, lo cual se mostró que influye considerablemente en los resultados.

Briggs, desarrolló cinco relaciones diferentes, cuya aplicación depende del grado de estabilidad atmosférica, y de la influencia de la boyantez o del momento en el impulso ascendente de la pluma. El uso de estas ecuaciones se ha incluido en la mayor parte de este trabajo. Las ecuaciones restantes se expresan como:

$$\text{Concawe: } \Delta h = 4.71 \frac{(Q_h)^{0.444}}{(u_s)^{0.694}}$$

$$\text{Holland: } \Delta h = \frac{V_s d}{u_s} \left(1.5 + 0.0096 \frac{Q_h}{V_s d} \right)$$

$$\text{Carson \& Moses: } \Delta h = -0.029 \frac{V_s d}{u_s} + 2.62 \frac{(Q_h)^{1/2}}{u_s}$$

En la tabla 7, se puede comparar como influye el valor de Δh (calculado con las ecuaciones mencionadas) en la concentración esperada a nivel del suelo.

Para las ecuaciones de Briggs, Concawe, Holland y Carson&Moses, los incrementos de altura calculados resultaron 6.21 m, 23 m, 2.25 m y 11.50 m, respectivamente. Se puede apreciar que las ecuaciones de Briggs arrojan un valor intermedio de

incremento en la altura de la pluma de gases, con respecto a las otras ecuaciones. La aplicación de la ecuación de Holland provee el menor incremento de altura, y por ende las mayores concentraciones a nivel del suelo. La ecuación de Carson & Moses provee el mayor incremento en altura, y consecuentemente menores concentraciones.

Tabla 7. Variación con las ecuaciones utilizadas para hallar Δh

X (m)	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	Briggs	Concawe	Holland	C&M
0	0	0	0	0
15	0,00	0,00	1,19	0,00
30	30,70	0,00	154,97	1,81
45	103,80	0,55	219,89	28,60
60	119,01	5,86	186,04	56,23
75	106,07	14,67	144,05	64,32
90	88,30	21,40	111,09	61,32
105	72,44	24,62	87,04	54,59
120	59,64	25,25	69,55	47,40
135	49,58	24,40	56,64	40,86
150	41,67	22,84	46,92	35,25
165	35,42	21,03	39,45	30,54
180	30,43	19,19	33,61	26,63

No está de más recordar lo mucho que puede influir la estabilidad atmosférica en el perfil de concentración, tal como se mostró en la sección anterior. Ello implica que bajo condiciones diferentes de estabilidad, las ecuaciones de Briggs pueden proveer incrementos de altura en la pluma de gases, más próximos o más alejados a los valores obtenidos con las otras ecuaciones.

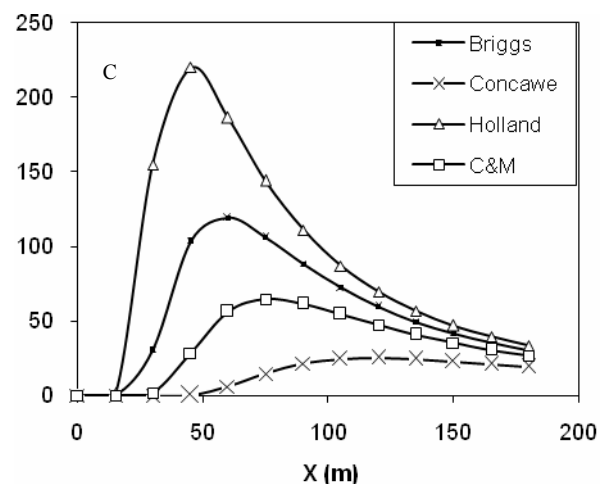


Figura 7. Influencia de las ecuaciones utilizadas

La diferencia en las concentraciones obtenidas, muestra que el uso de una u otra ecuación tiene el potencial de modificar considerablemente los

resultados, esto es, no existe similitud en los resultados de dichas ecuaciones cuando se aplican bajo las condiciones evaluadas en este trabajo. No obstante, las referencias bibliográficas sugieren que bajo ciertas condiciones, se obtendría similitud en los resultados provistos por las ecuaciones.

Por lo expuesto, los resultados más conservadores pueden ser obtenidos con las ecuaciones de Briggs, puesto que las mismas han sido desarrolladas en función de un mayor número de variables con respecto a sus similares.

3.8. Comportamiento del perfil de concentración en condiciones seleccionadas

Como se mencionó anteriormente, la distribución de Gauss, es la base de muchos modelos de dispersión. Cuando se aplica dicho modelo, los resultados obtenidos arrojan valores que se distribuyen en forma de campana en los planos transversales respecto al eje X. En la dirección vertical ocurre algo similar, pero por lo general, las concentraciones de interés en este tipo de estudios, son las que se obtienen a nivel del suelo.

En las secciones anteriores, se establecieron cuales eran las condiciones más críticas para este caso particular; tales condiciones se obtenían cuando se

registraban altos contenidos de azufre en el combustible, temperaturas relativamente bajas a la salida de los gases, velocidades bajas del viento, bajas alturas de chimenea y estabilidad tipo C.

En la figura 8, se ha graficado la forma en que varía el perfil de concentración en el espacio, cuando se tiene 2.15% de azufre en el combustible, 3.5 m/s de velocidad del viento, 10 m de altura de chimenea, 400 K de temperatura en los gases, y estabilidad tipo C; nótese como disminuye paulatinamente la concentración y se redistribuye hacia ambos lados con respecto a la dirección del flujo.

En este caso, el modelaje de dispersión de contaminantes en el aire, permite establecer que bajo las condiciones adversas descritas, se estaría en riesgo de generar altos niveles de concentración a una distancia inferior a los 100 m desde la chimenea.

Tomando una vista superior del plano X-Y, es posible notar la existencia de curvas de igual nivel de concentración (con forma bien definida); estas corresponden a una sola dirección del viento. Pero en el modelaje de dispersión de contaminantes en el aire, lo que interesa es determinar las curvas de nivel sobre toda el área de influencia de la fuente emisora, lo cual implica la utilización de todas las direcciones del viento; en tales estudios, se generan curvas de nivel con forma irregular.

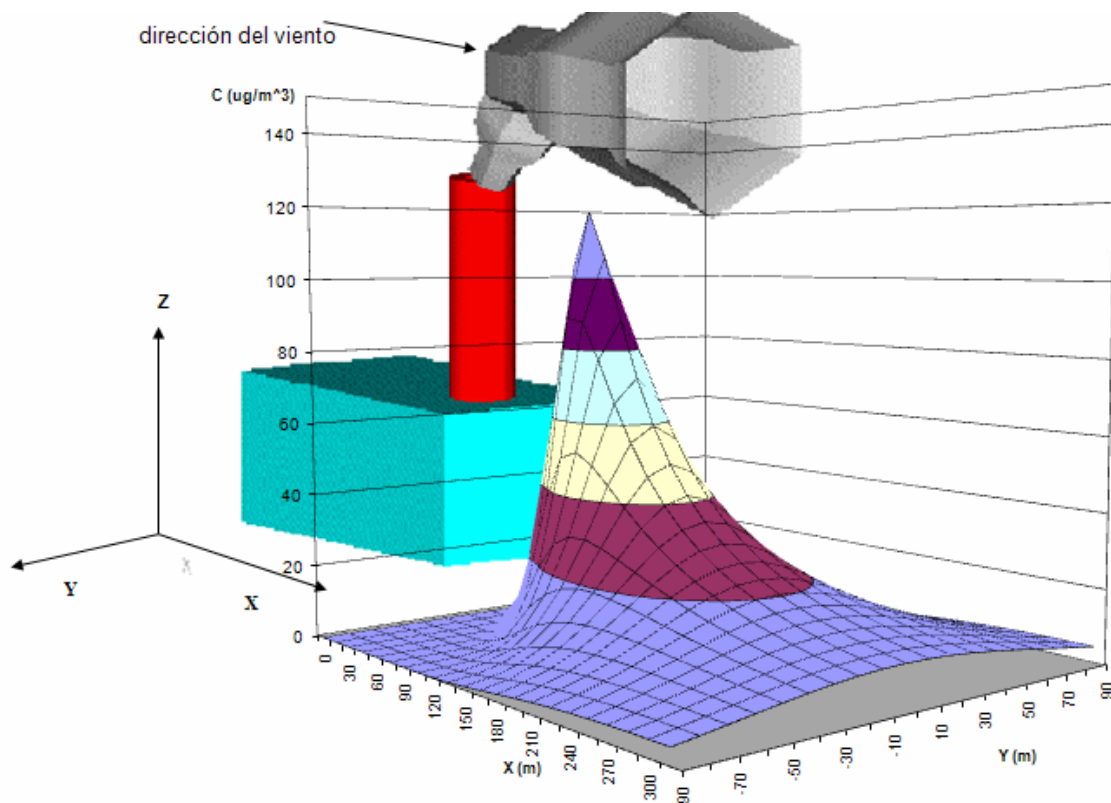


Figura 8. Distribución de la concentración de contaminantes

Un modelo de dispersión completo, analiza la situación en cada uno de los puntos establecidos en la rosa de los vientos, con lo cual se puede determinar las

zonas más vulnerables a los problemas de calidad del aire.

4. Discusión

En el modelaje de dispersión de contaminantes en el aire, tienen gran influencia los parámetros analizados; sin embargo, el trabajo que se ha realizado no contempla factores tales como el efecto de las condiciones topográficas o la influencia de las edificaciones en la dispersión de contaminantes en el aire. De hecho, se ha asumido en todo momento que el terreno es plano ($z = 0$), lo cual en condiciones reales no es cierto; además la edificación sobre la cual se halla ubicada la chimenea, tiene una influencia importante especialmente cuando la parte alta del edificio es cercana a la salida de los gases y cuando las velocidades de descarga son bajas.

Por tales razones, el análisis presentado es de carácter básico, aunque de todas formas, los resultados presentados hacen posible llegar a importantes conclusiones.

5. Conclusiones

El incremento de la altura en la pluma de la chimenea, depende de la temperatura y velocidad a la que son descargados los gases; los resultados muestran que, cuanto más alto es el incremento en la altura de salida de los gases, menor será la concentración de sustancias contaminantes sobre el terreno.

Es preferible contar con chimeneas que tengan alta velocidad de descarga y temperatura elevada en los gases; si uno de estos valores es bajo, por lo menos el otro debería mantenerse alto.

Dadas las características del sistema térmico en análisis, se encontró que las condiciones de mayor adversidad para la dispersión de contaminantes en el aire, se dan cuando se tiene: baja temperatura de

descarga, baja velocidad del viento, baja altura de chimenea, estabilidad tipo C y alto contenido de azufre en el combustible. Las ecuaciones de Concawe, Holland, Carson&Moses, y Briggs originan valores de concentración considerablemente diferentes, de manera que no ha sido posible establecer una tendencia. Sin embargo, la base teórica y técnica de las ecuaciones de Briggs, parece mostrar que éstas son las más confiables para el análisis.

Al analizar la influencia de la temperatura, de la altura de la chimenea, de la velocidad de salida, de la estabilidad atmosférica y de la utilización de las ecuaciones para determinar el incremento de altura, se pudo notar que después de cierta distancia desde la fuente emisora, existe una tendencia a la estabilización de la concentración; es decir, que por lo menos para estos parámetros, existe un punto a partir del cual no hay mayor influencia de la variable en análisis.

6. Referencias

- [1] Cooper C. D., Alley F. C. (1986). "Air Pollution Control – A Design Approach". Second Edition, Waveland Press, Inc., Illinois.
- [2] Wark K., Warner C. F., Davis W. T., Air Pollution Its Origin and Control (Third Edition), Addison Wesley Longman Inc., 1998
- [3] Heinsohn R. J., Kabel R. L., Sources and Control of Air Pollution, Prentice Hall, 1999
- [4] Haas C. N., Vamos R. J., Hazardous and Industrial Waste Treatment, Prentice Hall Inc., 1995
- [5] US EPA, Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model. User's Guide. Second Edition, Volume II. US EPA, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, USA. 1995