

---

# Introducción

## 1.1 Emisiones de fuentes puntuales.

El modelo a corto plazo del SCRI utiliza la ecuación de estado constante de la pluma Gaussiana para modelar las emisiones de fuentes puntuales, tales como chimeneas y respiraderos aislados. En esta sección se describe el modelo puntual Gaussiano, que incluye la ecuación básica Gaussiana, las formulas de elevación de la pluma y las fórmulas usadas para determinar los parámetros de dispersión.

### 1.1.1 La Ecuación Gaussiana.

El modelo a corto plazo del SCRI para chimeneas utiliza la ecuación en estado constante de la pluma Gaussiana para una fuente continua elevada. Para cada fuente y cada hora, el origen del sistema de coordenadas esta ubicado en la superficie del suelo en la base de la chimenea. El eje X es positivo en la dirección del viento, el eje de las Y es normal al eje X y el eje Z se extiende verticalmente. Las posiciones de los receptores fijos son convertidas al sistema de coordenadas de cada fuente para el cálculo de concentración cada hora. El calculo de distancias "viento abajo" (longitudinales) y de "viento cruzado" (transversales) se describe en la sección 1.1.2

Las concentraciones calculadas cada hora para cada fuente en cada receptor son sumadas para obtener la concentración total producida en cada receptor por las combinaciones de las fuentes de emisión.

Para la pluma Gaussiana en estado constante, la concentración para cada hora a una distancia longitudinal x (en metros), y una distancia transversal y (en metros) está dada por:

$$c = \frac{Q K V D}{2 p u_s s_y s_z} \exp \left[ -0.5 \left( \frac{y}{s_y} \right)^2 \right] \quad (1-1)$$

Donde:

- Q = Gasto de Emisión del contaminante (masa por unidad de tiempo).
- K = Coeficiente escalar para convertir las concentraciones calculadas a las unidades deseadas (el valor establecido es de  $1 \times 10^6$  para Q en g/s y concentración en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- V = Término vertical (ver sección 1.1.6).
- D = Término de disminución (ver sección 1.1.7).
- $\sigma_y, \sigma_z$  = Desviación estándar de la distribución vertical y lateral de la concentración (m) (ver sección 1.1.5).
- $u_s$  = Velocidad media del viento (m/s) a la altura de emisión (ver sección 1.1.3)

La ecuación (1-1) incluye un término vertical (V), un término de disminución (D), y los parámetros de dispersión ( $\sigma_y, \sigma_z$ ) que se discutirán más tarde. Se debe hacer notar que el término vertical incluye los efectos de la elevación de la fuente, la elevación del receptor, la elevación de la pluma, un mezclado limitado en la dirección vertical y la precipitación gravitacional y deposición en seco de partículas (con diámetros mayores de 0.1 micrones)

---

### 1.1.2 Distancias Longitudinales y Transversales.

Si las coordenadas X y Y de las fuentes son X(s) y, Y(s), la distancia X en la dirección del viento hacia el receptor a lo largo de la dirección de movimiento de la pluma, está dada por:

$$x = -(X(R) - X(S)) \sin(WD) - (Y(R) - Y(S)) \cos(WD) \quad (1-2)$$

Donde WD es la dirección desde donde sopla el viento. La distancia del sentido del Viento se utiliza para calcular la elevación de la pluma dependiendo de la distancia (ver sección 1.1.4) y los parámetros de dispersión (ver sección 1.1.5). Si algún receptor es localizado a un metro del punto fuente o a un metro del radio efectivo de una fuente volumétrica, se imprimirá un mensaje de advertencia y las concentraciones no serán calculadas para la combinación receptor-fuente. La distancia transversal y al receptor desde la línea central de la pluma está dada por:

$$y = (X(R) - X(S)) \cos(WD) - (Y(R) - Y(S)) \sin(WD) \quad (1-3)$$

La distancia transversal es usada en la ecuación (1.1)

### 1.1.3 Perfil de Velocidades del Viento.

La ley de potencias del viento se utiliza para ajustar la velocidad del viento observada,  $U_{ref}$ , desde una altura de medición de referencia,  $Z_{ref}$ , hasta la altura de emisión de la chimenea,  $h_s$ . La velocidad del viento a la altura de la fuente  $u_s$ , es usada en la ecuación de la pluma Gaussiana (ecuación 1-1), y en las formulas de elevación de la Pluma descritas en la sección 1.1.4. La ecuación de la ley de potencias es de la forma:

$$XFUNCu_s = u_{ref} \left( \frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p \quad (1-4)$$

Donde p es el exponente del perfil del viento. Los valores de p pueden ser dados por el usuario en función de la categoría de estabilidad y la clase de velocidad del viento. Los valores establecidos son los siguientes:

Categoría de Estabilidad	Exponente Rural	Exponente Urbano
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

La velocidad del viento a la altura de la chimenea,  $u_s$ , no debe ser menor de 1.0 m/s.

---

## 1.1.4 Fórmulas de Elevación de la Pluma

La altura de la pluma es usada para el calculo del Término Vertical descrito en la sección 1.1.6. La ecuación de elevación de la pluma de briggs se discutirá más tarde. La descripción está basada en el Apéndice B del suplemento de la Guía del usuario MPTER (Chico y Catalano, 1986) para casos donde la pluma no es afectada por edificios. Las ecuaciones del momento de elevación de la pluma según la distancia, descritas en (Bowers, et al., 1979) se utilizan para determinar si la pluma es afectada por edificios para el cálculo de la estela alrededor de las paredes del mismo. Estos cálculos para la determinación de la obstrucción por edificios se realizan asumiendo que no existe una caída de la pluma en la punta de la chimenea para los métodos Huber-Snyder y Schulman-Scire. Cuando el modelo ejecuta los métodos de cálculo de la estela alrededor de edificios de Schuman y Scire, se utilizan las sugerencias de reducción de elevación de la pluma de Schuman y Scire (1980), según se describe en la sección 1.1.4.11.

### 1.1.4.1 Caída de la pluma en la chimenea

Para considerar la caída de la pluma en la chimenea, se hace una modificación física de la altura de la chimenea según Briggs (1974, p. 4). La altura física modificada de la chimenea  $h_s'$  se encuentra a partir de:

$$h_s' = h_s + 2d_s \left[ \frac{v_s}{u_s} - 1.5 \right] \quad \text{para } v_s < 1.5u_s \quad (1-5)$$

o

$$h_s' = h_s \quad \text{para } v_s \geq 1.5u_s$$

Donde  $h_s$  es la altura física de la chimenea (m),  $v_s$  es la velocidad de salida de los gases (m/s) y  $d_s$  es el diámetro interno de la chimenea. Esta  $h_s'$  se utiliza durante el resto de los cálculos de altura de la pluma. Si no se considera la caída de la pluma en la chimenea,  $h_s' = h_s$  en las ecuaciones siguientes.

### 1.1.4.2 Fluctuaciones de Momento y Flotabilidad

Para la mayoría de las situaciones en que existe elevación de la pluma, se necesita el valor del parámetro de fluctuación de flotabilidad de Briggs,  $F_b$  ( $m^4/s^3$ ). La siguiente ecuación es equivalente a la ecuación (12), (Briggs, 1975, p.63):

$$F_b = g v_s d_s^2 \left( \frac{\Delta T}{4 T_s} \right) \quad (1-6)$$

Donde  $\Delta T = T_s - T_a$ ,  $T_s$  es la temperatura del gas en la chimenea (K), y  $T_a$  es la temperatura ambiental del aire (K).

Para determinar la elevación de la pluma debido al momento de la chimenea, el parámetro de fluctuación de momento,  $F_m$  ( $m^4/s^2$ ), se calcula basado en la siguiente fórmula:

$$F_m = v_s^2 d_s^2 \frac{T_a}{4 T_s} \quad (1-7)$$

---

### 1.1.4.3 Inestable o Neutral - Traspaso entre Momento y Flotabilidad

Para los casos en los que la temperatura del gas en la chimenea es igual o mayor a la temperatura ambiente, debe determinarse si la elevación de la pluma está dominada por el momento o la flotabilidad. La diferencia de temperatura de traspaso,  $(\Delta T)_c$ , se determina igualando la ecuación (5.2) de Briggs (1969, p.59) a la combinación de las ecuaciones (6) y (7) de Briggs (1971, p.1031) y resolviendo para  $\Delta T$ , como sigue:

Para  $F_b < 55$

$$(\Delta T)_c = 0.0297 T_s \frac{V_s^{1/3}}{d_s^{2/3}} \quad (1-8)$$

Para  $F_b \geq 55$

$$(\Delta T)_c = 0.00575 T_s \frac{V_s^{2/3}}{d_s^{1/3}} \quad (1-9)$$

Si la diferencia entre la temperatura del gas y la temperatura ambiental  $(\Delta T)$ , iguala o excede  $(\Delta T)_c$ , se asume que la elevación de la pluma está dominada por la flotabilidad, de otra forma, se asume que está dominada por el momento.

### 1.1.4.4 Inestable o Neutral - Elevación por Flotabilidad

Para los casos en los que  $\Delta T$  excede  $(\Delta T)_c$  como se determinó anteriormente, se presume que la flotabilidad es predominante. La distancia de elevación final,  $x_f$ , se determina a partir del equivalente de la ecuación (7), (Briggs, 1971, p. 1031), y se asume que es  $3.5x^*$ , donde  $x^*$  es la distancia a la cual la turbulencia debida a la atmósfera comienza a superar la entrada de partículas al interior de la pluma. El valor de  $x_f$  se calcula como sigue:

para  $F_b < 55$  :

$$x_f = 49 F_b^{5/8} \quad (1-10)$$

y para  $F_b \geq 55$  :

$$x_f = 119 F_b^{2/5} \quad (1-11)$$

La altura efectiva final de la pluma,  $h_e$  (m), se determina a partir del equivalente de la combinación de las ecuaciones (6) y (7) (Briggs, 1971, p. 1031) :

para  $F_b < 55$  :

$$h_e = h_s' + \frac{21.425 F_b^{3/4}}{u_s} \quad (1-12)$$

y para  $F_b \geq 55$  :

$$h_e = h_s' + \frac{38.71 F_b^{3/5}}{u_s} \quad (1-13)$$

---

### 1.1.4.5 Inestable o Neutral - Elevación por Momento

Para los casos en los que la temperatura del gas en la chimenea es igual o menor a la temperatura ambiente, se asume que la elevación de la pluma se encuentra dominada por el momento. Si  $\mathbf{DT}$  es menor que  $(\mathbf{DT})_c$  de la ecuación (1-10) o (1-11), se asume también que la elevación de la pluma está dominada por el momento. La altura de la pluma se calcula a partir de la ecuación (5.2) de Briggs (1969, p.59) :

$$h_e = h_s' + 3d_s \frac{v_s}{u_s} \quad (1-14)$$

Briggs (1969, p.59) sugiere que esta ecuación es más aplicable cuando  $v_s/u_s$  es mayor que 4.

### 1.1.4.6 Parámetro de Estabilidad

Para situaciones estables, el parámetro de estabilidad,  $s$ , se calcula de la ecuación (Briggs, 1971, p. 1031):

$$s = g \frac{\partial q / \partial z}{T_a} \quad (1-15)$$

Como una aproximación estándar, para la clase de estabilidad E ó 5  $\partial\theta/\partial z$  se toma como 0.020 K/m, y para la clase F ó 6 se toma como 0.035 K/m.

### 1.1.4.7 Estable - Traspaso entre Momento y Flotabilidad

Para los casos en los que la temperatura del gas en la chimenea es igual o mayor a la temperatura ambiente, debe determinarse si la elevación de la pluma está dominada por el momento o la flotabilidad. La diferencia de temperatura de traspaso,  $(\mathbf{DT})_c$ , se determina igualando la ecuación (59) de Briggs (1975, p.96) a la ecuación (4.28) de Briggs (1969, p. 59) y resolviendo para  $\mathbf{DT}$ , como sigue:

$$(\Delta T)_c = 0.019582 T_s v_s \sqrt{s} \quad (1-16)$$

Si la diferencia entre la temperatura del gas en la chimenea y la temperatura ambiental  $(\mathbf{DT})$ , iguala o excede  $(\mathbf{DT})_c$ , se asume que la elevación de la pluma está dominada por la flotabilidad, de otra forma, se asume que está dominada por el momento.

### 1.1.4.8 Estable - Elevación por Flotabilidad

Para los casos en los que  $\mathbf{DT}$  excede  $(\mathbf{DT})_c$  como se determinó anteriormente, se presume que la flotabilidad es predominante. La distancia de elevación final,  $x_f$ , se determina a partir del equivalente de una combinación de las ecuaciones (48) y (59) de Briggs (1975, p. 96) :

$$x_f = 2.0715 \frac{u_s}{\sqrt{s}} \quad (1-17)$$

La altura de la pluma,  $h_e$ , se determina a partir del equivalente de la ecuación (59) (Briggs, 1975, p. 96) :

$$h_e = h_s' + 2.6 \left( \frac{F_b}{u_s s} \right)^{1/3} \quad (1-18)$$

#### 1.1.4.9 Estable - Elevación por Momento

En los casos en que la temperatura del gas en la chimenea es menor o igual a la temperatura ambiente, se asume que la elevación de la pluma se encuentra dominada por el momento. Si  $\Delta T$  es menor que  $(\Delta T)_c$  como se determinó por la ecuación (1-6), se asume también que la elevación de la pluma está dominada por el momento. La altura de la pluma se calcula a partir de la ecuación (4.28) de Briggs (1969, p.59) :

$$h_e = h_s' + 1.5 \left( \frac{F_m}{u_s \sqrt{s}} \right)^{1/3} \quad (1-19)$$

También se evalúa la ecuación de Elevación por Momento para condiciones atmosféricas Inestables o Neutras (1-14). El menor resultado menor de estas dos ecuaciones se usa como la altura resultante de la pluma, dado que la elevación de la pluma en condiciones estables no debe exceder la elevación de la pluma en condiciones inestables o neutras.

#### 1.1.4.10 Para toda clase de condiciones - Distancia menor a la Distancia de Elevación Final

Cuando se debe estimar la elevación gradual para condiciones estables, inestables o neutras, si la distancia en la dirección del viento desde la fuente al receptor,  $x$ , es menor que la distancia de elevación final, se utiliza el equivalente de la ecuación (2) de Briggs (1972, p. 1030) para determinar la altura de la pluma:

$$h_e = h_s' + 1.60 \left( \frac{F_b^{1/3} x^{2/3}}{u_s} \right) \quad (1-20)$$

Esta altura solamente será utilizada en condiciones donde predomine la flotabilidad; si excediera la altura final para las condiciones apropiadas, se sustituye dicha elevación final por ésta.

Para las condiciones en que predomina el momento, las siguientes ecuaciones (Bowers, et al., 1979) se utilizan para calcular una elevación de la pluma debida al momento y dependiente de la distancia:

a) *Condiciones inestables:*

$$h_e = h_s' + \left( \frac{3F_m x}{\beta_j^2 u_s^2} \right)^{1/3} \quad (1-21)$$

Donde x es la distancia en la dirección del viento (m), con un valor máximo definido por  $x_{\max}$  como sigue:

$$\begin{aligned} x_{\max} &= \frac{4d_s(v_s + 3u_s)^2}{v_s u_s} \quad \text{para } F_b = 0 \\ &= 49 F_b^{5/8} \quad \text{para } 0 < F_b \leq 55 m^4/s^3 \\ &= 119 F_b^{2/5} \quad \text{para } F_b > 55 m^4/s^3 \end{aligned} \quad (1-22)$$

b) *Condiciones estables:*

$$h_e = h_s' + \left[ 3F_m \frac{\sin(x \sqrt{s} / u_s)}{\beta_j^2 u_s \sqrt{s}} \right]^{1/3} \quad (1-23)$$

Donde x es la distancia en la dirección del viento (m), con un valor máximo definido por  $x_{\max}$  como sigue:

$$x_{\max} = 0.5 \frac{p u_s}{\sqrt{s}} \quad (1-24)$$

El coeficiente de admisión de partículas hacia la corriente del flujo,  $\beta_j$ , esta dado por :

$$\beta_j = \frac{1}{3} + \frac{u_s}{v_s} \quad (1-25)$$

Al igual que con la elevación flotante gradual, si la elevación por momento en función de la distancia excede la elevación final para la condición apropiada, entonces se sustituye la elevación final por ésta.

#### **1.1.4.10.1 Cálculo de la altura de la pluma para la determinación de los efectos debidos a la estela provocada por edificios**

Los algoritmos de afectación por edificios en los modelos del SCRI requieren en todo caso del cálculo de elevación de la pluma debida al momento, en función de la distancia. Cuando se simula la afectación por edificios, las ecuaciones descritas anteriormente se utilizan para calcular la elevación de la pluma debida al momento, dependiendo de la distancia, a una distancia de dos veces la altura del edificio en la dirección del

viento a partir de la cara del edificio que se encuentra a favor del viento. Sin embargo, la caída de la pluma en la chimenea no se utiliza cuando se realiza éste cálculo (ej.  $h_s' = h_s$ ). La altura de afectación de la pluma en la estela del edificio, se compara a la altura de afectación basada en la fórmula de Buena Práctica Ingenieril (Good Engineering Practice, (GEP)) para determinar si el efecto de estela provocado por el edificio son aplicables a la pluma para esa hora.

Los procedimientos para tomar en cuenta los efectos de la afectación por edificios se detallan en la sección 1.1.5.3. Los cálculos de la elevación de la pluma utilizando el algoritmo Schulman-Scire se detallan en la sección 1.1.4.11.

#### 1.1.4.11 Elevación de la pluma utilizando el modelo Schulman-Scire para afectación por edificios

Los algoritmos de afectación Schulman-Scire son utilizados por los modelos del SCRI cuando la altura de la chimenea es menor a la altura del edificio mas la mitad del valor menor entre altura y ancho del edificio. Cuando se cumple este criterio, los modelos del SCRI estiman la elevación de la pluma en condiciones de afectación por edificio siguiendo la sugerencia de Scire y Schulman (1980). La elevación de la pluma se reduce debido a la dilución inicial de la pluma en la atmósfera.

La elevación de la pluma se estima como sigue: las dimensiones iniciales de la pluma afectada se aproximan mediante una fuente lineal de longitud  $L_y$  y profundidad  $2R_o$  donde

$$R_o = \sqrt{2} A s_z \quad x = 3L_B \quad (1-26)$$

$$L_y = \sqrt{2p} (s_y - s_z) \quad x = 3L_B, \quad s_y \geq s_z \quad (1-27a)$$

$$L_y = 0 \quad x = 3L_B, \quad s_y < s_z$$

$L_B$  al mínimo de  $h_b$  y  $h_w$ , donde  $h_b$  es la altura del edificio y  $h_w$  es el ancho proyectado (transversal) del edificio.  $A$  es un factor de Disminución lineal, explicado con mayor detalle en la sección 1.1.5.3.2. Si no existe incremento de  $\sigma_y$  o si la  $\sigma_y$  incrementada es menor que la  $\sigma_z$  incrementada, la pluma inicial se representa por un círculo de radio  $R_o$ . El factor  $\sqrt{2}$  convierte la  $\sigma_z$  Gaussiana a una distribución circular uniforme equivalente y  $\sqrt{2\pi}$  convierte  $\sigma_y$  a una distribución rectangular uniforme equivalente. Tanto como se evalúan en  $x = 3L_B$ , y se toman como la mayor de las sigmas incrementadas y las sigmas obtenidas de las curvas (ver sección 1.1.5.3). el valor de  $L_y$  usado para calcular  $L_y$  también incluye el término lineal de Disminución.

La elevación de una fuente lineal finita afectada se resuelve en el modelo BLP (Scire y Schulman, 1980). La elevación neutra dependiente de la distancia ( $Z$ ) está dada por:

$$Z^3 + \left( \frac{3L_y}{pb} + \frac{3R_o}{b} \right) Z^2 + \left( \frac{6R_o L_y}{pb^2} + \frac{3R_o^2}{b^2} \right) Z = \frac{3F_b x^2}{2b^2 u_s^3} + \frac{3F_m x}{b_j^2 u_s^2} \quad (1-28)$$

La elevación estable dependiente de la distancia (Z) está dada por:

$$Z^3 + \left( \frac{3L_y}{pb} + \frac{3R_o}{b} \right) Z^2 + \left( \frac{6R_o L_y}{pb^2} + \frac{3R_o^2}{b^2} \right) Z = \frac{3F_b x^2}{2b^2 u_s^3} + \frac{3F_m \sin \left( \frac{x \sqrt{s}}{u_s} \right)}{b_j^2 u_s \sqrt{s}}$$

(1-29a)

Con una elevación estable máxima por flotabilidad dada por:

$$Z^3 + \left( \frac{3L_y}{pb} + \frac{3R_o}{b} \right) Z^2 + \left( \frac{6R_o L_y}{pb^2} + \frac{3R_o^2}{b^2} \right) Z = \frac{6F_b}{b^2 u_s s}$$

(1-29b)

Donde:

$F_b$  = Término de fluctuación de flotabilidad (Ecuación 1-8) (m4/s3)

$F_m$  = Término de fluctuación de momento (Ecuación 1-9) (m4/s2)

$x$  = Distancia en la dirección del viento (m)

$u_s$  = Velocidad del viento a la altura de la emisión (m/s)

$v_s$  = Velocidad de salida de los gases (m/s)

$d_s$  = Diámetro de la chimenea (m)

$\beta$  = Coeficiente de admisión de partículas en la pluma (=0.6)

$\beta_j$  = Coeficiente de admisión de partículas en el chorro de la pluma =  $\frac{1}{3} + \frac{u_s}{v_s}$

$s$  = Parámetro de estabilidad =  $g \frac{\partial \rho / \partial z}{T_a}$

La mayor entre la elevación causada por momento y la elevación causada por flotabilidad, determinadas por separado al igualar alternadamente  $F_b$  o  $F_m$  a cero y resolviendo para Z, se selecciona para los cálculos de afectación de la elevación de la pluma de Schulman-Scire. En los modelos del SCRI, Z se determina al resolver la ecuación cúbica utilizando el método de Newton.

## 1.1.5 Los Parámetros de Dispersión

### 1.1.5.1 Parámetros de dispersión de Fuentes Puntuales

Para calcular  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  (en metros) para el modo rural se utilizan ecuaciones que se aproximan a las curvas de Pasquill-Gifford (Turner, 1970). Las ecuaciones para calcular  $\sigma_y$  son de la forma:

$$s_y = 465.11628(x)\tan(\text{TH}) \quad (1-30)$$

Donde:

$$\text{TH} = 0.017453293[c-d \ln(x)] \quad (1-31)$$

En las ecuaciones (1-31) y (1-33) la distancia en la dirección del viento está en kilómetros y los coeficientes c y d se enlistan en la tabla 1-1. La ecuación usada para calcular  $\sigma_z$  es de la forma:

$$s_z = ax^b \quad (1-32)$$

Donde la distancia en la dirección del viento x está en kilómetros y  $\sigma_z$  está en metros. Los coeficientes a y b vienen dados en la tabla 1-2.

Las tablas 1-3 y 1-4 muestran las ecuaciones utilizadas para determinar  $s_y$  y  $s_z$  para terreno urbano. Estas expresiones fueron determinadas por Briggs, como lo reporta Gifford (1976) y representan la mayor aproximación a los datos de difusión vertical urbana reportados por McElroy y Pooler (1968). Mientras que las funciones de Briggs se asumen como válidas para distancias a favor del viento menores a 100m, se advierte al usuario que las concentraciones en receptores a menos de 100m de una fuente pueden no ser confiables.

TABLA 1-1  
PARAMETROS UTILIZADOS PARA CALCULAR LA  $\sigma_y$  DE PASQUILL-GIFFORD

Categoría de Estabilidad de Pasquill	$s_y = 465.11628 (x)\tan(\text{TH})$	
	$\text{TH} = 0.017453293 [c - d \ln(x)]$	
	c	D
A	24.1670	2.5334
B	18.3330	1.8096
C	12.5000	1.0857
D	8.3330	0.72382
E	6.2500	0.54287
F	4.1667	0.36191

donde  $\sigma_y$  está en metros y x está en kilómetros.

TABLA 1-2  
PARAMETROS UTILIZADOS PARA CALCULAR LA  $\sigma_z$  DE PASQUILL-GIFFORD

Categoría de Estabilidad de Pasquill	$\sigma_z(\text{metros}) = ax^b$ (x en km)		
	x (km)	a	b
A*	<.10	122.800	0.94470
	0.10 - 0.15	158.080	1.05420
	0.16 - 0.20	170.220	1.09320
	0.21 - 0.25	179.520	1.12620
	0.26 - 0.30	217.410	1.26440
	0.31 - 0.40	258.890	1.40940
	0.41 - 0.50	346.750	1.72830
	0.51 - 3.11	453.850	2.11660
	>3.11	**	**
B*	<.20	90.673	0.93198
	0.21 - 0.40	98.483	0.98332
	>0.40	109.300	1.09710
C*	Todos	61.141	0.91465
D	<.30	34.459	0.86974
	0.31 - 1.00	32.093	0.81066
	1.01 - 3.00	32.093	0.64403
	3.01 - 10.00	33.504	0.60486
	10.01 - 30.00	36.650	0.56589
	>30.00	44.053	0.51179
E	<.10	24.260	0.83660
	0.10 - 0.30	23.331	0.81956
	0.31 - 1.00	21.628	0.75660
	1.01 - 2.00	21.628	0.63077
	2.01 - 4.00	22.534	0.57154
	4.01 - 10.00	24.703	0.50527
	10.01 - 20.00	26.970	0.46713
	20.01 - 40.00	35.420	0.37615
	>40.00	47.618	0.29592
F	<.20	15.209	0.81558
	0.21 - 0.70	14.457	0.78407
	0.71 - 1.00	13.953	0.68465
	1.01 - 2.00	13.953	0.63227
	2.01 - 3.00	14.823	0.54503
	3.01 - 7.00	16.187	0.46490
	7.01 - 15.00	17.836	0.41507
	15.01 - 30.00	22.651	0.32681
	30.01 - 60.00	27.074	0.27436
	>60.00	34.219	0.21716

\* Si el valor calculado de  $\sigma_z$  excede los 5000 m,  $\sigma_z$  es igual a 5000 m.

\*\*  $\sigma_z$  es igual a 5000 m.

TABLA 1-3

FORMULAS DE BRIGGS UTILIZADAS PARA CALCULAR LA  $\sigma_y$  DE McELROY-POOLER

Categoría de Estabilidad de Pasquill	$\sigma_y$ (metros)*
A	$0.32 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
B	$0.32 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
C	$0.22 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
D	$0.16 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
E	$0.11 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
F	$0.11 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$

\* Donde x está en metros

TABLA 1-4

FORMULAS DE BRIGGS UTILIZADAS PARA CALCULAR LA  $\sigma_z$  DE McELROY-POOLER

Categoría de Estabilidad de Pasquill	$\sigma_z$ (metros)*
A	$0.24 \times (1.0 + 0.001 x)^{1/2}$
B	$0.24 \times (1.0 + 0.001 x)^{1/2}$
C	0.20 x
D	$0.14 \times (1.0 + 0.0003 x)^{-1/2}$
E	$0.08 \times (1.0 + 0.0015 x)^{-1/2}$
F	$0.08 \times (1.0 + 0.0015 x)^{-1/2}$

• Donde x está en metros

### 1.1.5.2 Distancias virtuales Verticales y Horizontales

Las ecuaciones de la tabla 1-1 a la tabla 1-4 definen los parámetros de dispersión para una fuente puntual ideal. Sin embargo, las fuentes volumétricas tienen dimensiones laterales y verticales iniciales. Además, como se explica más adelante, los efectos por afectación de edificios pueden incrementar el crecimiento inicial de la pluma. En estos casos, los modelos del SCRI agregan distancias virtuales laterales ( $x_y$ ) y verticales ( $x_z$ ) a la distancia real a favor del viento x para calcular  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ . La distancia lateral virtual (en kilómetros) para el modo rural está dada por:

$$x_y = \left( \frac{s_{y0}}{p} \right)^{1/q} \quad (1-33)$$

Donde los coeficientes dependientes de la estabilidad p y q están dados en la tabla 1-5 y  $s_{y0}$  es la desviación estándar en metros de la distribución de concentración lateral en la fuente. Similarmente, la distancia vertical virtual (en kilómetros) para el modo rural está dada por:

$$x_z = \left( \frac{s_{z0}}{a} \right)^{1/b} \quad (1-34)$$

Donde los coeficientes a y b se obtienen de la tabla 1-2 y  $\sigma_{z0}$  es la desviación estándar en metros de la distribución de concentración vertical en la fuente. Es importante notar que el modelo SCRI verifica que la  $x_z$  utilizada para calcular  $\sigma_z$  en  $(x+x_z)$  en el modo rural sea la  $x_z$  calculada utilizando los coeficientes a y b que correspondan a la categoría de distancia especificada por la cantidad  $(x+x_z)$ .

Para determinar las distancias virtuales en modo urbano, las fórmulas desplegadas en las tablas 1-3 y 1-4 se resuelven para x. Las soluciones son fórmulas cuadráticas para las distancias virtuales laterales; y para las distancias virtuales verticales las soluciones son ecuaciones cúbicas para las clases de estabilidad A y B, una ecuación lineal para la clase de estabilidad C y ecuaciones cuadráticas para las clases de estabilidad D, E y F. Las ecuaciones cúbicas se resuelven por iteración utilizando el método de Newton.

TABLA 1-5

COEFICIENTES UTILIZADOS PARA CALCULAR LAS DISTANCIAS LATERALES VIRTUALES PARA LOS RANGOS DE DISPERSIÓN DE PASQUILL-GIFFORD

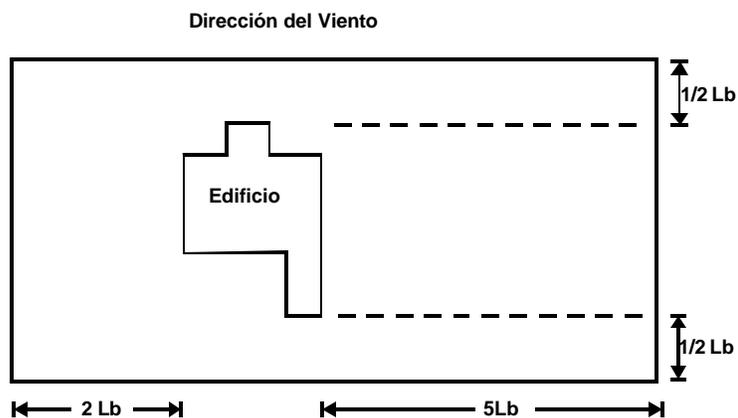
Categoría de Estabilidad de Pasquill	$x_y = \left( \frac{S_{y0}}{p} \right)^{1/q}$	
	P	q
A	209.14	0.890
B	154.46	0.902
C	103.26	0.917
D	68.26	0.919
E	51.06	0.921
F	33.92	0.919

### 1.1.5.3 Procedimientos para tomar en cuenta la Afectación por Edificios en la Dispersión del Flujo

Los procedimientos utilizados por el modelo SCRI toman en cuenta los efectos de estela aerodinámica y remolinos causados por edificios y estructuras sobre la dispersión de la pluma, siguiendo originalmente las sugerencias de Huber (1977) y Snyder (1976). Sus sugerencias se basan principalmente en los resultados de sus experimentos en túnel de viento, utilizando un edificio a escala con una dimensión transversal del doble de su altura. La turbulencia atmosférica simulada en los experimentos resultó ser intermedia entre la intensidad de turbulencia asociada con la categoría C de Pasquill, moderadamente inestable, y la intensidad de turbulencia asociada con la categoría D, o neutra. De esta forma, los datos reportados por Huber y Snyder reflejan una estabilidad específica, así como una forma de edificio y orientación con respecto a la dirección media del viento. Por consiguiente, los procedimientos de evaluación de afectación por edificios pueden no ser estrictamente aplicables a todas las situaciones. Los modelos del SCRI proveen también de un tratamiento revisado de la afectación por edificios para ciertas fuentes, las cuales utilizan algoritmos modificados de elevación de la pluma, según las sugerencias de Schulman y Hanna (1986). Este tratamiento se basa ampliamente en el trabajo de Scire y Schulman (1980). Cuando la altura de la chimenea es menor que la suma de la altura del edificio más la mitad del menor entre la altura y el ancho del edificio, se siguen los métodos de Schulman y Scire. De otra forma, se siguen los métodos de Huber y Snyder. En los modelos del SCRI, las dimensiones de un edificio en una dirección específica pueden usarse tanto en los algoritmos de Hubert-Snyder como de Schulman-Scire.

Los procedimientos de evaluación pueden ser aplicados por el usuario a cualquier chimenea sobre o adyacente a un edificio. Para su aplicación más exacta, un edificio se considera lo suficientemente cerca de una

chimenea como para causar cierta afectación cuando la distancia entre la chimenea y la parte más cercana del edificio es menor o igual a cinco veces la distancia menor entre la altura y el ancho proyectado del edificio. Para análisis de afectación por edificios en una dirección específica, se asume que la afectación ocurre si la chimenea se encuentra dentro de un rectángulo compuesto de dos líneas perpendiculares a la dirección del viento, una a  $5 L_b$  en la dirección del viento y la otra a  $2 L_b$  en la dirección contraria y dos líneas paralelas a la dirección del viento cada una a  $0.5 L_b$  de distancia de cada lado del edificio, como se muestra:



$L_b$  es la distancia menor, entre la altura y el ancho proyectado del edificio para ese sector en particular. Para obtener información adicional sobre cómo determinar si una configuración de edificios más compleja puede causar afectación, el lector puede usar como referencia la versión revisada de la *Guía para la Determinación de Altura de Chimeneas según la Buena Práctica Ingenieril* (Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height - Revised, EPA, 1985). En las siguientes secciones, se describe el método de afectación por edificios de Huber y Snyder, seguido por una descripción del método de Schulman y Scire.

### 1.1.5.3.1 Procedimientos para el cálculo de la afectación por edificios de Huber y Snyder

El primer paso en los procedimientos de evaluación de afectación usados por los programas del modelo SCRI es calcular la elevación gradual de la pluma debida únicamente al momento a una distancia igual a dos veces la altura del edificio, usando la ecuación (1-21) o la ecuación (1-23). Si la altura de la pluma,  $h_e$ , dada por la altura de la chimenea (sin el ajuste de caída de la pluma en la chimenea) y la elevación por momento es mayor a dos y media veces la altura del edificio ( $2.5 h_b$ ) o a la suma de la altura del edificio y una y media veces el ancho del mismo ( $h_b + 1.5 h_w$ ), se asume que la pluma no es afectada por el edificio. De otra forma, se asume que la pluma si se ve afectada por el alza del edificio.

Los programas del modelo SCRI toman en cuenta los efectos provocados por el edificio modificando  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  de la pluma, cuando la relación entre la altura de la pluma y la altura del edificio es menor o igual a 1.2 y modificando únicamente  $\sigma_z$  para plumas saliendo de chimeneas con una relación entre la altura de la pluma y la altura del edificio mayor a 1.2 (pero menor a 2.5). La altura de la pluma utilizada en las relaciones entre altura de la pluma y la altura de la chimenea es la misma altura que se utiliza para determinar si existe afectación por edificios. Los modelos del SCRI definen a los edificios como "squat" (bajo) cuando  $h_w$  es mayor o igual a  $h_b$  y como "tall" (alto) cuando  $h_w$  es menor que  $h_b$ . Los modelos del SCRI incluyen un procedimiento general para modificar  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  a distancias mayores o iguales a  $3h_b$  para edificios bajos y  $3h_w$  para edificios altos. El flujo de aire en la región de vacío es altamente turbulento y generalmente recirculante. Los modelos del SCRI no son apropiados para estimar la concentración dentro de tales regiones. La suposición de que esta región de vacío recirculante se extiende hasta una distancia a favor del viento de  $3h_b$  para edificios bajos y  $3h_w$  para edificios altos es más apropiada para edificios cuyo ancho no es mucho mayor que su altura. Se advierte al usuario que para otros tipos de edificios, los receptores colocados a distancias de  $3h_b$  (edificios bajos) y  $3h_w$  (edificios altos) pueden estar dentro del área de recirculación.

La ecuación modificada de  $\sigma_z$  para un edificio bajo está dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_z' &= 0.7h_b + 0.067(x - 3h_b) \quad \text{para } 3h_b \leq x < 10h_b \\ & \text{o} \\ & = \mathbf{s}_z \{x + x_z\} \quad \text{para } x \geq 10h_b \end{aligned} \tag{1-35}$$

Donde la altura del edificio  $h_b$  está en metros. Para un edificio alto, Huber (1977) sugiere que la medida del ancho  $h_w$  reemplace a  $h_b$  en la ecuación (1-35). La ecuación modificada de  $\sigma_z$  para un edificio alto está dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_z' &= 0.7h_w + 0.067(x - 3h_w) \quad \text{para } 3h_w \leq x < 10h_w \\ & \text{o} \\ & = \mathbf{s}_z \{x + x_z\} \quad \text{para } x \geq 10h_w \end{aligned} \tag{1-36}$$

Donde  $h_w$  está en metros. Es importante notar que no se permite que  $\sigma_z'$  sea menor al valor de la fuente puntual dado en las tablas 1-2 ó 1-4, lo cual puede ocurrir.

La distancia virtual vertical,  $x_z$ , se agrega a la distancia real en la dirección del viento,  $x$ , a distancias mayores a  $10h_b$  para edificios bajos o  $10h_w$  para edificios altos, para poder tomar en cuenta el crecimiento inicial de la pluma debido a la afectación por edificios. La distancia virtual se calcula a partir de las soluciones a las ecuaciones de sigmas urbanas o rurales mostradas anteriormente.

Como ejemplo para escenarios rurales, las ecuaciones (1-32) y (1-35) pueden combinarse para derivar la distancia virtual vertical  $x_z$  para un edificio bajo. Primero, a partir de la ecuación (1-35) en la que  $\sigma_z$  es igual a  $1.2h_b$  a una distancia de  $10h_b$  en metros o  $0.01h_b$  en kilómetros. Así, para un edificio bajo,  $x_z$  se obtiene de la ecuación (1-32) como sigue:

$$s_z \{0.01 h_b\} = 1.2h_b = a (0.01h_b + x_z)^b \quad (1-37)$$

$$x_z = \left( \frac{1.2h_b}{a} \right)^{1/b} - 0.01h_b \quad (1-38)$$

Donde las constantes dependientes de la estabilidad,  $a$  y  $b$  son obtenidas de la tabla 1-2. Similarmente, la distancia virtual vertical para edificios altos está dada por:

$$x_z = \left( \frac{1.2h_w}{a} \right)^{1/b} - 0.01h_w \quad (1-39)$$

Para escenarios urbanos,  $x_z$  se calcula a partir de las soluciones a las ecuaciones en la tabla 1-4 para  $\sigma_z = 1.2h_b$  ó  $\sigma_z = 1.2h_w$  para edificios altos o bajos respectivamente.

Para un edificio bajo con una relacion entre ancho y altura ( $h_w/h_b$ ) menor o igual a 5, la ecuación modificada de  $\sigma_y$  está dada por:

$$s_y' = 0.35h_w + 0.067(x - 3h_b) \quad \text{para } 3h_b \leq x < 10h_b \quad (1-40)$$

$$= s_y \{x + x_y\} \quad \text{para } x \geq 10h_b$$

Para un edificio que es mucho más ancho de lo que es alto ( $h_w/h_b$  mayor de 5), los datos disponibles son insuficientes para proveer ecuaciones generales para  $\sigma_y$ . Para una chimenea localizada hacia el centro de dicho edificio, sólo se considera significativa la escala vertical. La ecuación de  $\sigma_y$  modificada para un edificio muy bajo está dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}'_y &= 0.35h_b + 0.067(x - 3h_b) \quad \text{para } 3h_b \leq x < 10h_b \\ &\text{o} \\ &= \mathbf{s}_y\{x + x_y\} \quad \text{para } x \geq 10h_b \end{aligned} \tag{1-41}$$

Para  $h_w/h_b$  mayor que 5 y una chimenea localizada lateralmente a una distancia no mayor de  $2.5h_b$  a partir del extremo del edificio, la dispersión lateral de la pluma se ve afectada por el flujo alrededor del edificio. Se asume que contando el efecto en el extremo del edificio, el incremento en la dispersión lateral inicial no excede al dado por la ecuación (1-42) con  $h_w$  reemplazada por  $5h_b$ . La ecuación de  $\sigma_y$  modificada está dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}'_y &= 1.75h_b + 0.067(x - 3h_b) \quad \text{para } 3h_b \leq x < 10h_b \\ &\text{o} \\ &= \mathbf{s}_y\{x + x_y\} \quad \text{para } x \geq 10h_b \end{aligned} \tag{1-42}$$

Los límites superior e inferior de las concentraciones que puede esperarse ocurran cerca del edificio se determinan usando las ecuaciones (1-41) y (1-42) respectivamente. El usuario debe especificar si se utilizará la ecuación (1-41) o la ecuación (1-42) para los cálculos del modelo. En ausencia de instrucciones del usuario, los modelos del SCRI utilizan la ecuación (1-41) si la relación entre ancho y alto ( $h_w/h_b$ ) del edificio es mayor que 5.

Aunque la ecuación (1-41) provee los mayores estimados de concentración para edificios bajos con relación entre ancho y alto ( $h_w/h_b$ ) mayor a 5, la ecuación es aplicable sólo a una chimenea localizada cerca del centro del edificio cuando la dirección del viento es perpendicular al lado más largo del edificio (v. gr., cuando el flujo de aire sobre la porción del edificio que contiene la fuente es bidimensional). Así, la ecuación (1-42) es generalmente más apropiada que la ecuación (1-41). Se cree que las ecuaciones (1-41) y (1-42) proveen límites razonables sobre la extensión del incremento lateral de la dispersión y que estas ecuaciones son adecuadas hasta que estén disponibles datos adicionales para evaluar el flujo cercano a edificios muy anchos.

la ecuación modificada de  $\sigma_y$  para un edificio alto está dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}'_y &= 0.35h_w + 0.067(x - 3h_w) \quad \text{para } 3h_w \leq x < 10h_w \\ &\text{o} \\ &= \mathbf{s}_y\{x + x_y\} \quad \text{para } x \geq 10h_w \end{aligned} \tag{1-43}$$

Los modelos del SCRI despliegan un mensaje de advertencia y no calculan la concentración para cualquier combinación fuente-receptor en donde la separación existente entre la fuente y el receptor sea menor a un metro o cuando el receptor se encuentre a una distancia menor a  $3 h_b$  para un edificio bajo o  $3 h_w$  para un edificio alto; bajo los efectos de la afectación por edificios. Debe notarse que, para ciertas combinaciones de estabilidad y altura y/o ancho, las dimensiones laterales y/o verticales de la pluma, indicadas para una fuente puntual por las curvas de dispersión a una distancia a favor del viento de diez veces la altura o el ancho del edificio pueden exceder los valores dados por la ecuación (1-35) o (1-36) y por la ecuación (1-40) o (1-41). Consecuentemente, los modelos del SCRI no permiten que los valores de las distancias virtuales  $x_y$  y  $x_z$  sean menores a cero.

### 1.1.5.3.2 Procedimientos Refinados de Schulman y Scire para el cálculo de afectación por edificios

Los procedimientos para tratar los efectos de la afectación por edificios incluyen el uso del método de Schulman y Scire. Los procedimientos de afectación por edificios utilizan este método cuando la altura física de la chimenea es menor a  $h_b + 0.5L_B$ , donde  $h_b$  es la altura del edificio y  $L_B$  es el valor menor de entre la altura y el ancho del edificio. En aplicaciones de reglamentación, se utiliza el ancho máximo proyectado. Las características del método de Schulman y Scire son:

(1) Reducción de la elevación inicial debido a la dilución, (2) dispersión vertical incrementada de la pluma como una función lineal de la altura efectiva de la emisión, y (3) especificación de las dimensiones del edificio como una función de la dirección del viento. Las ecuaciones reducidas de la elevación de la pluma han sido descritas previamente en la sección 1.1.4.11.

Cuando se utiliza el método de Schulman y Scire, los modelos de dispersión del SCRI especifican un factor lineal de Disminución, el cual se debe incluir en las  $\sigma_z$  calculadas usando las ecuaciones (1-35) y (1-36), como sigue:

$$s_z'' = A s_z' \quad (1-44)$$

Donde  $s_z'$  proviene ya sea de la ecuación (1-37) o la ecuación (1-38) y A es el factor de Disminución lineal como sigue:

$$\begin{aligned}
 & A = 1 \quad \text{si } h_e \leq h_b \\
 & A = \frac{h_b - h_e}{2L_B} + 1 \quad \text{si } h_b < h_e \leq h_b + 2L_B \\
 & A = 0 \quad \text{si } h_e > h_b + 2L_B
 \end{aligned} \quad (1-45)$$

Donde la altura de la pluma,  $h_e$ , es la altura debida a la elevación gradual debida al momento a una distancia de  $2h_b$  utilizada para evaluar los efectos de la afectación por edificios. El efecto del factor lineal de Disminución se ilustra en la figura 1-1. Para los casos de Schulman y Scire, el término lineal de Disminución se utiliza también al calcular las distancias virtuales verticales con las ecuaciones (1-38) y (1-39).

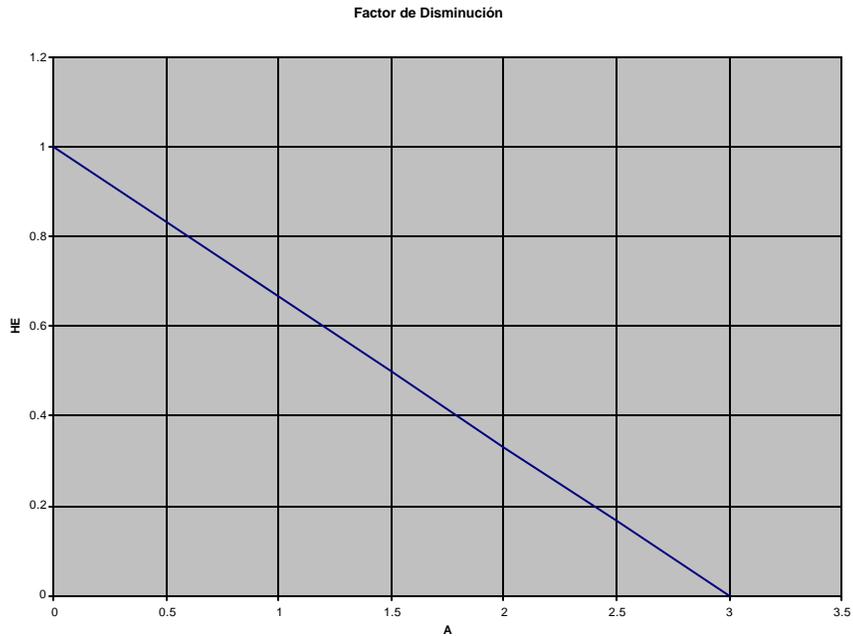


Figura 1-1. Factor de Decaimiento Lineal, A, como una función de la altura efectiva, He. Se asume un edificio bajo para simplificar.

Cuando se utiliza el modelo de Schulman y Scire, los modelos del SCRI requieren de alturas y anchos proyectados en direcciones específicas para el cálculo de la afectación por edificios. Los modelos también admiten dimensiones de edificios en direcciones específicas para los casos de afectación según Huber y Snyder. El usuario introduce las alturas y los anchos proyectados del perfil del edificio asociado con la mayor altura de afectación de la pluma por cada diez grados de dirección. Estas alturas y anchos proyectados son los mismos que se utilizan para el cálculo de altura de chimeneas (GEP). Para el cálculo apropiado de las alturas y los anchos proyectados para cada dirección, el usuario debe referirse los documentos editados por la EPA (1986). La figura 1-2 muestra un ejemplo de un edificio con dos perfiles distintos que controlan la altura apropiada para ser usada con diferentes direcciones del viento. Para viento del este o del oeste, el perfil inferior define la altura y ancho correctos, mientras que para un viento del norte o del sur, el perfil superior define los valores apropiados de altura y ancho.

La altura de la afectación es  $H_w = H + 1.5 L_b$   
donde  $L_b$  es la menor entre la altura y  
el ancho del edificio

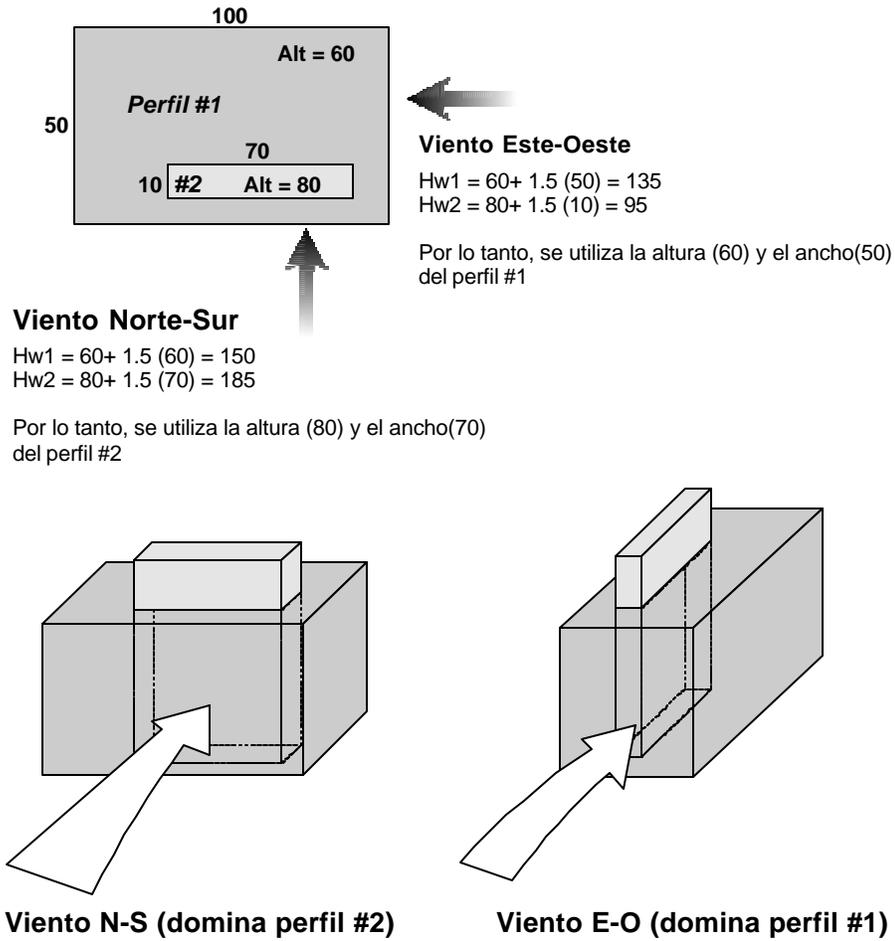


Figura 1-2. Ilustración de un edificio de doble perfil con distintos perfiles dominando en distintas direcciones

---

#### 1.1.5.4 Procedimientos utilizados para calcular la dispersión inducida por Flotación

El método de Pasquill (1976) se usa para tomar en cuenta la dispersión inicial de la pluma, causada por el movimiento turbulento de la pluma y de la admisión dentro del flujo de la pluma del aire ambiental. Con este método, la dispersión vertical efectiva  $\sigma_{ze}$  se calcula como sigue:

$$\sigma_{ze} = \left[ \sigma_z^2 + \left( \frac{\Delta h}{3.5} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1-46)$$

Donde  $\sigma_z$  es la dispersión vertical debida a la turbulencia atmosférica y  $\Delta h$  es la elevación de la pluma debida al momento y/o flotación. La dispersión lateral de la pluma se parametriza usando una expresión similar:

$$\sigma_{ye} = \left[ \sigma_y^2 + \left( \frac{\Delta h}{3.5} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1-47)$$

Donde  $\sigma_y$  es la dispersión lateral debida a la turbulencia ambiental. Debe notarse que  $\Delta h$  es la elevación de la pluma dependiendo de la distancia si el receptor se localiza entre la fuente y la distancia a la elevación final; y es la elevación final si el receptor se encuentra a una distancia mayor a la distancia a la elevación final. Así, si el usuario escoge utilizar la elevación final en todos los receptores, la elevación dependiente de la distancia se utiliza en el cálculo de la dispersión inducida por flotación y la elevación final de la pluma se usa en las ecuaciones de concentración. También deberá notarse que la dispersión inducida por flotación no se usa cuando la opción de utilizar los calculos de afectación por edificios de Schulman-Scire se encuentra activa.

#### 1.1.6 El Término Vertical

El término vertical (V), el cual se incluye en la ecuación (1-1), toma en cuenta la distribución vertical de la pluma Gaussiana. Incluye los efectos de la elevación de la fuente, elevación del receptor, elevación de la pluma (Sección 1.1.4), mezclado limitado en el eje vertical y la precipitación por gravedad y deposición en seco de partículas. Aparte de la altura de la pluma, altura del receptor y altura de mezclado; el cómputo del término vertical requiere del parámetro de dispersión vertical ( $\sigma_z$ ) descrito en la sección 1.1.5.

##### 1.1.6.1 El Término Vertical sin Deposición en Seco

En general, los efectos sobre la concentración ambiental de la precipitación debido a la gravedad y la deposición en seco pueden despreciarse para los contaminantes gaseosos y las partículas pequeñas (con un diámetro menor a 0.1 micrones). El efecto del término vertical sin deposición en seco está dado por:

(1-48)

$$\begin{aligned}
 V = & \exp \left[ -0.5 \left( \frac{z_r - h_e}{s_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -0.5 \left( \frac{z_r + h_e}{s_z} \right)^2 \right] \\
 & + \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \exp \left[ -0.5 \left( \frac{H_1}{s_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -0.5 \left( \frac{H_2}{s_z} \right)^2 \right] \right. \\
 & \left. + \exp \left[ -0.5 \left( \frac{H_3}{s_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -0.5 \left( \frac{H_4}{s_z} \right)^2 \right] \right\}
 \end{aligned}$$

- $h_e$  =  $h_s + \Delta h$
- $H_1$  =  $z_r - (2iz_i - h_e)$
- $H_2$  =  $z_r + (2iz_i - h_e)$
- $H_3$  =  $z_r - (2iz_i + h_e)$
- $H_4$  =  $z_r + (2iz_i + h_e)$
- $z_r$  = Altura del receptor sobre el piso ("flagpole") (m)
- $z_i$  = Altura de mezclado (m)

El término de series infinitas en la ecuación (1-48) toma en cuenta los efectos de la restricción sobre el crecimiento vertical de la pluma en la parte superior de la capa de mezclado. Como se muestra en la figura 1-3, el método de imágenes de la fuente se usa para contabilizar las múltiples reflexiones de la pluma desde el suelo y la parte alta de la capa de mezclado. Debe notarse que si la altura efectiva de la emisión  $h_e$ , excede la altura de mezclado,  $z_i$ , se asume que la pluma penetra completamente la inversión elevada y la concentración a nivel de suelo se iguala a cero.

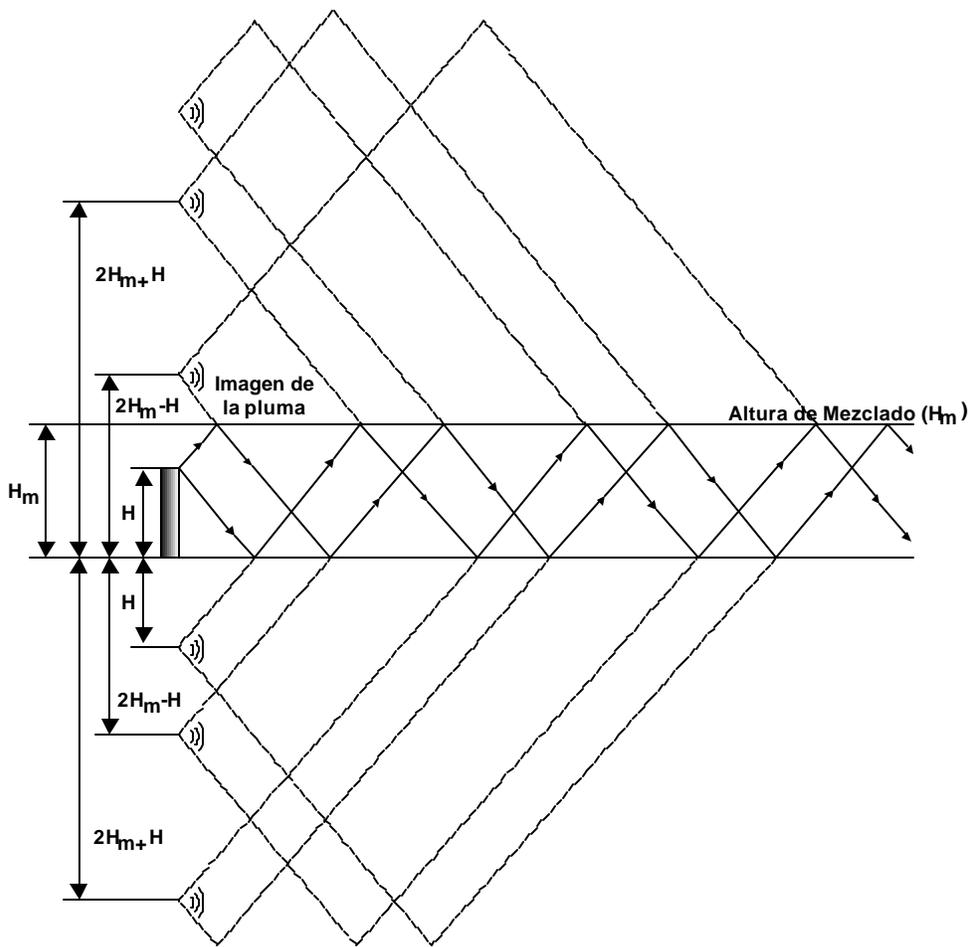


Figura 1-3 Método de Imágenes Múltiples de la pluma usado para simular la reflexión de la pluma en el modelo SCRI

La ecuación (1-48) asume que la altura de mezclado en áreas rurales y urbanas es conocida para cualquier clase de estabilidad. Los modelos del SCRI asumen una altura de mezclado ilimitada bajo condiciones estables y por lo tanto, eliminan el término de series infinitas de la ecuación (1-48) para las categorías de estabilidad E y F.

El término vertical definido en la ecuación (1-48) cambia la forma de la distribución vertical de la concentración de Gaussiana a rectangular (v. gr., una concentración uniforme dentro de la capa superficial de mezclado) a grandes distancias en la dirección del viento. Consecuentemente, a razón de reducir el tiempo de cómputo sin pérdida de exactitud, la ecuación (1-48) es cambiada a la forma:

$$V = \frac{\sqrt{2ps_z}}{z_i}$$

(1-49)

A distancias en la dirección del viento donde la relación  $\sigma_z/z_i$  sea mayor o igual a 1.6.

### 1.1.6.2 El Término Vertical en Terreno Simple Elevado

Los modelos del SCRI asumen lo siguiente respecto al comportamiento de la pluma en terreno simple elevado (v. gr., terreno superior a la elevación de la base de la chimenea pero menor a la altura de emisión):

- El eje de la pluma permanece a la altura de estabilización de la pluma sobre la media del nivel del mar mientras pasa sobre terreno elevado o hundido.
- La altura de mezclado sigue el contorno del terreno.
- La velocidad del viento es una función de la altura sobre la superficie (ver ecuación (1-4)).

Así, una altura modificada de estabilización de la pluma  $h_e'$  se sustituye por la altura efectiva de la emisión  $h_e$  en el término vertical dado por la ecuación (1-48). Por ejemplo, la altura efectiva de estabilización en un punto  $x$  está dada por:

$$h_e' = h_e + z_s - z_{(x,y)}$$

(1-50)

Donde:

$z_s$  = Altura media sobre el nivel del mar en la base de la chimenea (m)

$z_{(x,y)}$  = Altura media sobre el nivel del mar del terreno en la posición del receptor (x,y) (m)

Debe notarse también, que como recomienda la EPA, los modelos de SCRI "truncan" el terreno a la altura de la chimenea como sigue: si la altura del terreno  $z - z_s$  excede la altura de emisión de la fuente,  $h_e$ , la elevación del receptor es "recortada" automáticamente a la altura física de la emisión. Se advierte al usuario que que las concentraciones en estos receptores en terreno complejo están sujetas a una incertidumbre considerable. La figura 1-4 ilustra los procedimientos de ajuste del terreno usados por los modelos del SCRI para terreno elevado simple. El término vertical usado con los algoritmos de terreno complejo se describe en la sección 1.3.6.

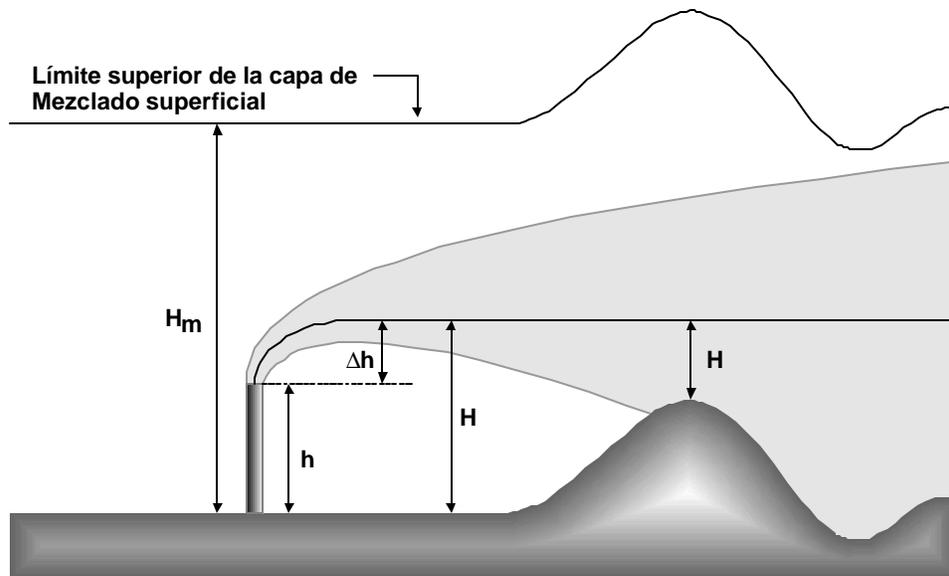


Figura 1-4 Ilustración del comportamiento de la pluma en terreno complejo.

---

### 1.1.7 El Término de Disminución (D)

El Término de Disminución en la ecuación (1-1) es un método simple de tomar en cuenta la remoción del contaminante por medio de procesos químicos o físicos. Éste es de la forma:

$$D = \exp\left(-\frac{\psi x}{u_s}\right) \quad \text{para } \psi > 0$$
$$= 1 \quad \text{para } \psi = 0$$
(1-52)

Donde:

- $\psi$  = El coeficiente de Disminución ( $s^{-1}$ ) (un valor de cero significa que no se considera la disminución)
- $x$  = Distancia en la dirección del viento (m)

Por ejemplo, si  $T_{1/2}$  es la vida media del contaminante en segundos, el usuario puede obtener  $\psi$  de la relación:

$$\psi = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$
(1-53)

El valor predeterminado de  $\psi$  es cero. Es decir, no se considera disminución en los cálculos del modelo a menos que se especifique  $\psi$ . Sin embargo, una disminución debido a la vida media de 4 horas del contaminante se asigna automáticamente al  $SO_2$  cuando se modela sobre terreno urbano.

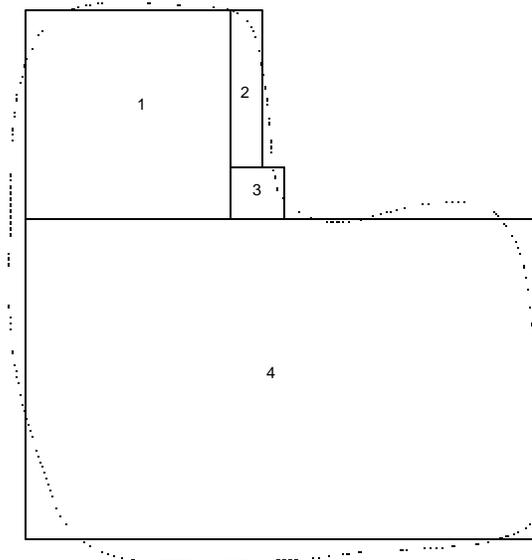
---

## 1.2 Emisiones de fuentes No-puntuales

### 1.2.1 Modelos de Fuentes de Área

Este modelo está basado en una integración numérica sobre el área en la dirección del viento (longitudinal) y transversal a la dirección del viento (transversal) de la fórmula Gaussiana de la nube de la fuente puntual dada en la ecuación (1-1). Las fuentes de áreas individuales pueden ser representadas como rectángulos con una relación (largo/ancho) de hasta 10 a 1. Además, los rectángulos pueden ser rotados en la orientación de norte a sur y de este a oeste. Como se muestra en la figura 1-5, los efectos de un área de una figura irregular pueden ser simulados dividiendo la fuente del área en múltiples áreas. Note que el tamaño y figura de la fuente de áreas individuales en la Figura 1-5 varían; el único requerimiento es que cada área fuente debe ser un rectángulo. Como resultado, una fuente de área irregular puede ser representado por un número menor de áreas fuente que si cada área tuviera una figura cuadrangular. Debido a la flexibilidad de poder especificar fuentes de áreas alargadas con este modelo, con relaciones de hasta 10 a 1, el algoritmo de fuente de área puede también ser usado para modelar ciertos tipos de fuentes lineales.

Figura 1-5 Representación de una fuente de área irregular mediante 4 fuentes de área rectangular



La concentración al nivel del suelo de un receptor localizado viento debajo de todas o una porción del área fuente está dado por una doble integral en la dirección del viento (x) y transversal a la dirección del viento (y) como:

$$c = \frac{Q_A K}{2 \rho u_s} \int_x \frac{V D}{s_y s_z} \left( \int_y \exp \left[ -0.5 \left( \frac{y}{s_y} \right)^2 \right] dy \right) dx \quad (1-54)$$

donde:

$Q_A$  = Valor del área fuente de emisión (masa por unidad de área por unidad de tiempo).

$K$  = Coeficiente de unidades de escalamiento (Ecuación 1-1).

$V$  = Término vertical (ver Sección 1.1.6.)

$D$  = Término de Disminución como una función de x (ver Sección 1.1.7.)

El término vertical es dado por la Ecuación (1-48) con la emisión efectiva de la altura,  $h_e$ , siendo la salida la altura física asignada por el usuario. En general,  $h_e$  debe ser colocado igual a la altura física de la fuente de emisiones sobre la altura terrena local. Por ejemplo, la altura de emisión  $h_e$  de un basurero de escoria es la altura física del basurero de escoria.

Dado que este algoritmo estima la integral sobre el área en la dirección del viento de la locación del receptor, los receptores pueden ser localizados dentro del área misma, viento abajo del área, o junto al área. No obstante, como  $\sigma_z$  se aproxima a 0 conforme la distancia en la dirección del viento se aproxima a 0 (ver Sección 1.1.5.1.), la función pluma es infinita para un receptor en la dirección del viento a una distancia de 0. Para evitar esta singularidad al evaluar la función de la pluma, el modelo iguala arbitrariamente la función a 0 cuando la distancia al receptor es menor a 1 metro. Como resultado, el algoritmo del área fuente podría proveer resultados poco confiables para receptores localizados dentro o adyacentes a áreas muy pequeñas, con dimensiones de unos cuantos metros entre sus caras. En estos casos, el receptor debe colocarse a una distancia mínima de un metro fuera del área.

En la Ecuación (1-54), la integral en la dirección lateral (por ejemplo transversal a la dirección del viento o y) se resuelve analíticamente como sigue:

$$I = \int_x \frac{V D}{s_y s_z} \operatorname{erfc} \left( \frac{y}{s_y} \right) dx = I_{2N} + \frac{(I_{2N} - I_N)}{3} \quad (1-55)$$

donde erfc es la función complementaria de error.

En la Ecuación (1-54), la integral en la dirección longitudinal (en la dirección del viento o x) se calcula utilizando métodos numéricos. Específicamente, el modelo estima la integral, I, como un promedio ponderado de estimaciones previas, extrapolando como sigue:

$$I = \int_y \exp \left[ -0.5 \left( \frac{y}{s_y} \right)^2 \right] dy = \operatorname{erfc} \left( \frac{y}{s_y} \right) \quad (1-56)$$

---

donde el término integral se refiere a la integral de la función pluma en la dirección del viento,  $I_N$  y  $I_{2N}$  se refieren a los estimados sucesivos de la integral usando una aproximación trapezoidal con  $N$  intervalos y  $2N$  intervalos. El número de intervalos se duplica con cada estimado trapezoidal de la integral. El modelo también ejecuta una integración Romberg tratando la secuencia  $I_k$  como un polinomial en  $k$ . Este modelo utiliza un conjunto de tres criterios para determinar si el proceso de integración en la dirección del viento "converge", o sea, se aproxima a un valor límite. El proceso de cálculo será considerado convergente y se utilizará el estimado más reciente de la integral, si cualquiera de las siguientes condiciones es verdadera:

- Si el número de "intervalos de mediación" ( $N$ ) en la aproximación trapezoidal de la integral ha llegado a 10, donde el número de elementos individuales en la aproximación es dado por  $1 + 2^{N-1} = 513$  para  $N$  de 10;
- si la extrapolación estimada de la integral real (Aproximación Romberg) converge dentro de una tolerancia de 0.0001 (por ej., 0.01 por ciento), y por lo menos 4 intervalos de mediación han sido completados; o
- Si la extrapolación estimada de la integral real es menos que  $1.0E^{-10}$ , y por lo menos 4 intervalos de mediación han sido completados.

La primera condición esencialmente pone un límite de tiempo al proceso de integración, la segunda condición verifica la exactitud del estimado de la integral, y en la tercer condición se coloca un ímite inferior de restricción al valor de la integral. El resultado de estos métodos numéricos es un estimado de la integral completa que es esencialmente equivalente, pero mucho más eficiente que, el método de estimación de la integral como una serie de líneas fuente.

### **1.3 Algoritmos de Análisis sobre Terreno Complejo**

El modelo a corto plazo utiliza una ecuación de estado estable, promediada por sectores para aplicaciones sobre terreno complejo (v. gr. Terreno sobre la chimenea o la altura de emisión). El terreno bajo la altura de emisión se considera terreno simple; los receptores colocados en este tipo de terreno se modelan con el modelo de fuente puntual descrito en la sección 1.1. El tratamiento del promedio por sector usado en terreno complejo, implica que la distribución lateral ("viento cruzado") de las concentraciones es uniforme a través de un sector de 22.5 grados. Los algoritmos de análisis sobre terreno complejo son aplicables solamente a emisiones puntuales y volumétricas, se excluyen las emisiones de área y de fosa abierta. La descripción es paralela a la discusión sobre el algoritmo de terreno simple en la sección 1.1, e incluye la ecuación Gaussiana básica de sectores promedio, las fórmulas de elevación de la pluma y las fórmulas usadas para determinar los parámetros de dispersión.

#### **1.3.1 La ecuación Gaussiana para el promedio por sectores**

El algoritmo del modelo sobre terreno complejo a corto plazo utiliza una ecuación de estado estable, promediada por sectores para una fuente continua elevada. Al igual que en el algoritmo de terreno simple mencionado en el punto 1.1, el origen del sistema de coordenadas de la fuente se coloca a nivel de suelo en la base de la chimenea para cada fuente a cada hora. El eje  $x$  es positivo en la dirección del viento, el eje  $y$  es normal al eje  $x$  y el eje  $z$  se extiende verticalmente. Las posiciones de los receptores fijos se convierten al sistema de coordenadas de cada fuente para el cálculo de concentración cada hora. Dado que las concentraciones son uniformes a través de un sector de 22.5 grados, el algoritmo de terreno complejo utiliza la distancia radial entre la fuente y el receptor en lugar de la distancia en la dirección del viento. El cálculo de la distancia en la dirección del viento, de la distancia transversal y la distancia radial se describe en la sección 1.3.2. Las concentraciones de cada hora para cada fuente en cada receptor se suman para obtener la concentración total producida en cada receptor por la combinación de las diversas fuentes de emisión.

Para una pluma Gaussiana, promediada por sectores, la concentración en cada hora a una distancia  $x$  (metros) en la dirección del viento y una distancia transversal  $y$  (metros) está dada por:

$$C = \frac{Q K V D}{\sqrt{2p} R \Delta q' u_s \sigma_z} \cdot \text{CORR} \quad (1-57)$$

donde:

Q	=	Gasto de emisión del contaminante (masa por unidad de tiempo)
K	=	Coefficiente escalar para convertir las concentraciones calculadas a las unidades deseadas (el valor establecido es de $1 \times 10^6$ para Q en g/s y concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$\Delta\theta'$	=	Ancho del sector en radianes (=0.3927)
R	=	Distancia radial de la fuente puntual al receptor = $[(x+x_y)^2 + y^2]^{1/2}$
x	=	Distancia del centro de la fuente al receptor, medida a lo largo del eje de la pluma (m)
y	=	Distancia lateral del eje de la pluma al receptor (m)
$x_y$	=	Distancia lateral virtual para fuentes volumétricas (ver ecuación (1-33)), cero para fuentes puntuales(m)
$u_s$	=	Velocidad media del viento (m/seg) a la altura de la chimenea
$\sigma_z$	=	Desviación estándar para la distribución vertical de la concentración
V	=	Término Vertical (ver sección 1.1.6)
D	=	Término de Disminución (ver sección 1.1.7)
CORR	=	Factor corrector de atenuación para receptores sobre la altura de línea central de la pluma (ver sección 1.3.8)

La ecuación (1-57) incluye un Término Vertical, un Término de Disminución y un término de dispersión vertical ( $\sigma_z$ ). El Término Vertical incluye los efectos de elevación de la fuente, elevación del receptor, mezclado vertical limitado, precipitación por gravedad y deposición en seco.

### 1.3.2 Distancias a favor del viento, Transversales y Radiales

El cálculo de las direcciones longitudinales y transversales se describe en la sección 1.1.2. Dado que los algoritmos de terreno complejo del SCRI se basan en el promedio por sectores, se utiliza la distancia radial en el cálculo de la elevación de la pluma (ver sección 1.3.4) y los parámetros de dispersión (ver sección 1.3.5). la distancia radial se calcula así:  $R = [x^2 + y^2]^{1/2}$ , donde x es la distancia en la dirección del viento y y es la distancia transversal descrita en la sección 1.1.2.

### 1.3.3 Perfil de Velocidad del Viento

Este tema se discute en la sección 1.1.3.

### 1.3.4 Fórmulas de elevación de la pluma

El algoritmo de terreno complejo del SCRI utiliza las ecuaciones de elevación de la pluma de Briggs, descritas en la sección 1.1.4. Para distancias menores a la distancia de elevación final, el algoritmo de terreno complejo usa la altura dependiente de la distancia (basada en la distancia radial) como se describe en la sección 1.1.4.10. Dado que el algoritmo para terreno complejo no incorpora los efectos de afactación por edificios, la elevación de la pluma de Schulman-Scire descrita en la sección 1.1.4.11 no se considera para el

---

modelado sobre terreno complejo. La altura de la pluma se usa en el cálculo del término vertical en la sección 1.3.6.

### 1.3.5 Los Parámetros de Dispersión

Los parámetros de dispersión usados en el modelado de terreno complejo del SCRI son los mismos que los parámetros de dispersión de fuentes puntuales para terreno simple, descritos en la sección 1.1.5.1; exceptuando la utilización de la distancia radial en lugar de la distancia en la dirección del viento. Ya que la distribución lateral de la pluma sobre terreno complejo se determina mediante una aproximación al promedio por sector, el algoritmo de terreno complejo no utiliza el parámetro de dispersión lateral,  $\sigma_y$ . El procedimiento para calcular la dispersión inducida por flotación en terreno complejo afecta sólo al término vertical de la dispersión (ver ecuación (1-46)). Dado que el modelo no incorpora los efectos de afectación por edificios, el incremento en los parámetros de dispersión y las distancias virtuales no son aplicables en este caso.

### 1.3.6 El Término Vertical

El término vertical usado en el algoritmo de terreno complejo es igual al descrito en la sección 1.1.6 para el algoritmo de terreno simple, excepto que los datos que se suministran al término vertical sobre la altura de la pluma y los parámetros de dispersión se basan en la distancia radial, como se describe anteriormente, y que el ajuste de la altura de la pluma para terreno superior a la base de la chimenea es distinto, como se describe en el punto 1.3.6.1.

#### 1.3.6.1 El Término Vertical en Terreno Complejo

El programa asume lo siguiente en relación al comportamiento de la pluma sobre terreno complejo:

- El eje de la pluma permanece en la altura de estabilización sobre la media del nivel del mar mientras pasa sobre terreno complejo en condiciones estables (categorías E y F), y utiliza un factor de corrección de "altura media" para condiciones neutrales e inestables (categorías A-D).
- La altura a la línea central de la pluma nunca es menor a 10 metros sobre el nivel de suelo en terreno complejo.
- La altura de mezclado sigue el contorno del terreno, por ej.; la altura de mezclado sobre el nivel del suelo en el receptor se asume que es la misma altura sobre el nivel de terreno en la fuente
- La velocidad del viento es una función de la altura sobre el terreno (ver ecuación (1-4)).

De esta forma, una altura de estabilización modificada  $h_e'$  sustituye a la altura efectiva de la chimenea en el término vertical dado por la ecuación (1-48). La altura efectiva de estabilización de la pluma en el punto  $x,y$  está dado por:

$$h_e' = h_e - (1 - F_T) H_t \quad (1-58)$$

donde:

- $h_e$  = Altura de la pluma en el punto  $x,y$  sin ajuste de terreno, como se describe en la sección 1.3.4 (m)
- $H_t$  =  $z_{|(x,y)} - z_s$  = altura del terreno de la posición del receptor sobre la base de la chimenea (m)
- $z_{|(x,y)}$  = Altura sobre la media del nivel del mar del terreno en la posición del receptor ( $x,y$ ) (m)

---

$z_s$	=	Altura sobre la media del nivel del mar de la base de la chimenea
$F_T$	=	Factor de ajuste del terreno, el cual es de 0.5 para las categorías A-D y 0.0 para las categorías E y F

El efecto del factor de ajuste del terreno ocasiona que la altura de la pluma en relación a la base se desvíe hacia arriba una distancia igual a la mitad de la altura del terreno mientras pasa sobre terreno complejo durante condiciones netras u inestables. Bajo condiciones estables, la pluma no es desviada a causa del terreno.

### 1.3.7 El Término de Disminución

Este tema se discute en la sección 1.1.7.

### 1.3.8 El Factor de Corrección de Atenuación de la Pluma

La deflexión de la pluma debida a las características del terreno complejo durante condiciones estables se simula aplicando un factor de corrección de atenuación a la concentración, con la altura del sector de interés. Este se representa por la variable CORR en la ecuación (1-57). El factor de corrección tiene un valor igual a la unidad para receptores localizados en y por debajo de la elevación de la línea central de la pluma al aire libre, antes de encontrar efectos a causa del terreno; decrementándose en forma lineal según el incremento de la altura del receptor sobre el nivel de la pluma hasta un valor de cero para receptores colocados al menos 400m sobre la altura de la línea central de la pluma sin distorsión. Esta relación se muestra en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 \text{CORR} &= \mathbf{1.0} && \mathbf{\text{inestable/neutra}} \\
 &= \mathbf{1.0} && \mathbf{DH_r < 0m} \\
 &= \mathbf{0.0} && \mathbf{DH_r > 400m} \\
 &= \mathbf{(400 - DH_r)/400} && \mathbf{DH_r < 400m}
 \end{aligned}$$

Donde:

CORR = Factor de Corrección de atenuación, es cual se sitúa entre 0 y 1

$\Delta H_r$  = Altura del receptor sobre la altura de la pluma sin distorsión, incluyendo la altura del receptor sobre el terreno local (ej., altura del poste)

## 1.4 Tratamiento hecho por el SCRI del Terreno Intermedio

En el modelo SCRI a corto plazo, el terreno intermedio se define como el terreno cuya altura excede la altura de emisión, pero se encuentra por debajo de la línea central de la pluma. La altura central de la pluma que se usa para definir si un receptor se encuentra en terreno intermedio es la altura dependiente de la distancia calculada para el algoritmo de terreno complejo.

Si la altura de la pluma iguala o excede la altura del terreno, entonces el receptor se define como de terreno complejo para esa hora y esa fuente, y la concentración se basa únicamente en el algoritmo de terreno complejo. Si la altura del terreno es menor a la de la pluma pero excede la altura física de emisión, entonces el receptor se define como de terreno intermedio para esa hora y esa fuente. Para los receptores de terreno intermedio se obtienen las concentraciones de ambos algoritmos, el de terreno simple y terreno complejo, y la

---

mayor de las dos concentraciones se utiliza para esa hora y esa fuente. Si la altura del terreno es igual o menor a la altura física de emisión, entonces el receptor se define como de terreno simple y la concentración en el mismo se basa sólo en el algoritmo de terreno simple.

---

## REFERENCIAS

---

## REFERENCIAS

---

- (1) Noll K.E., Miller T.L., "Air Monitoring Survey Design", Ann Arbor Science, Michigan, 1977.
- (2) O.I.E.A., "Dispersión Atmosférica en Relación con el Emplazamiento de Centrales Nucleares: Guía de Seguridad", STI/PUB/549, Viena, 1982.
- (3) Turner D.B., "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates", Environmental Protection Agency, Office of Air Programs, Research Triangle Park, North Carolina, 1970.
- (4) Mery P., Deniau R., "Les Moyens d'Estimation de la Dispersion des Polluants à l'Aval des Cheminées Industrielles", E.D.F., Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, Série A-Nucleaire, Hydraulique, Thermique, No. 3., pp. 5-64, 1972.
- (5) Pasquill F., "Atmospheric Diffusion: The Dispersion of Windborne Material from Industrial and Other Sources", Ellis Horwood Lt., 2nd. Edition. New York, 1974.
- (6) Perkins H.C., "Air Pollution", McGraw Hill KogaLusha Ltd., Tokio, 1974.
- (7) Environmental Protection Agency, "Accidental Episode Manual", Office of Air Programs, Research Triangle Park, North Carolina, 1972.
- (8) S.E.D.U.E., "Guía Metodológica para la Evaluación del Riesgo Derivado del Uso Antagónico del Suelo", México 1985.
- (9) U.S., Nuclear Regulatory Commission, "Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light-Water Cooled Reactors", Regulatory Guide I.III., U.S.A., July 1977.
- (10) Ludwig F.L., Gasiorek L.S., Ruff R.E., "Simplification of a Gaussian Puff Model for Real-Time Minicomputer Use", Atmos. Environ., Vol. II, pp. 431-436, 1977.
- (11) Lees F., "Loss Prevention in the Process Industries", Vols. 1-2, Butterworths, London, 1985.
- (12) Factory Mutual Systems, "Handbook of Industrial Loss Prevention", 2nd. Edition, McGraw Hill, New York, 1967.
- (13) NIOSH/OSHA, "Pocket Guide to Chemical Hazards", U.S. Dept. of Health and Human Services-U.S. Dept. of Labor, U.S.A., September 1978.

- 
- (14) Perry R.H., Chilton C.H., "Chemical Engineer's Handbook", Fifth Edition, McGraw Hill KogaLusha Ltd., Tokio, 1973.
  - (15) Reid R.C., Sherwood T.K., "Propiedades de los Gases y Líquidos: Su estimación y Correlación". Primera Edición en Español, U.T.E.H.A., 1968.
  - (16) Crawford M., "Air Pollution Control Theory", McGraw Hill Inc, U.S.A., 1976.
  - (17) Devenport S.A., "A Survey of Vapour Cloud Incidents", CEP, September 1977, pp. 54-62, 1977.
  - (18) Dawson V.C.D., "Safety and Safety Codes", en High Pressure Technology, Vol. I, Edits. Spain I.L. Paauwe J., Marcel Dekker Inc., New York, 1977.