

APUNTE, GUÍA DE AYUDA Y ACLARACIONES PARA CORRER EL SCREEN 3

Lic. Esp. Marcelo G Bormioli en base al Manual de Usuario del Screenshot
Versión 13 de mayo del 2022

El SCREEN3 es un software que permite estimar (calculando) la concentración de un contaminante (en una serie de puntos) por el modelado físico-matemático de la dispersión de las emisiones gaseosas.

Este modelo exploratorio (*Screening Model*) introduce varias mejoras al modelo simple de la ecuación Gaussiana, deducida analíticamente desde un modelo de transporte. La base de este programa sigue siendo la expresión Gaussiana pero agregando complejidades que lo aproxime cada vez más a una situación real. Por ejemplo poder tener en cuenta la existencia de edificios que produzcan un *downwash* o cavidad, inversiones térmicas o plumas en fumigación, las existencias terrenas complejas o elevadas y otras configuraciones.

Los Modelos Exploratorios (Screenings Models) se suelen aplicar en una fase exploratoria para sondear qué puede suceder en la dispersión del contaminante y previo a aplicar modelos más complejos.

Este Modelo SCREEN3 lo pide como suficiente la agencia ambiental de la Provincia de Bs As para las declaraciones de emisiones de efluentes gaseosos.

Entra al siguiente sitio de la EPA-USA. Familiarízate. Navega por él y bájalo.

<https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-screening-models>

¿Qué hace el SCREEN3?

- Es un programa interactivo. Te preguntará sobre las condiciones de la emisión y datos de la temperatura ambiente y unos pocos datos meteorológicos para darte la concentración del contaminante a una distancia dada.
- ¿Sabes que puedes modelar fuentes puntuales, de área, de volumen, e incluso antorchas?
- Te dará dónde se ubica y cuál es el valor del máximo de concentración en función de las condiciones meteorológicas y condiciones de salida de los gases emitidos.
- Incorpora los efectos de las cavidades de recirculación generadas (en las partes posterior) de edificios (*building downwash*), sobre las concentraciones máximas calculadas. Tanto para regiones cercanas o lejanas de la estela del edificio (*building wake*).
- Estima las concentraciones en esas cavidades de recirculación posterior a obstáculos.
- Estima concentraciones teniendo en cuenta inversiones térmicas, estelas fumigantes debido a las cercanías con costas, la elevación de las plumas por antorchas.
- Incorpora en los cálculos la presencia de terrenos complejos y elevados.



- Estima las concentraciones derivadas de fuentes puntuales, de área (a través de integración numérica), o de volúmenes simples.
- SCREEN calcula explícitamente los efectos de múltiples reflexiones de la pluma debido a la elevaciones, suelo, condiciones de mezclas, etc.
- y otras cosas más.

¿Qué no hace el SCREEN3?

- No considera posibles reacciones químicas que transformen el contaminante en otra sustancia, no considera sumideros, ni desaparición del contaminante por deposición húmeda o seca.
- Tiene en cuenta múltiples reflexiones de la pluma en el suelo y en la capa de inversión.
- No estima el impacto de múltiples fuentes repartidas y extendidas en un área extensa.
- Casi todas las estimaciones son para concentraciones en promedios temporales de promedios de 1 hora. Con la excepción de estimaciones de concentraciones promedio de 24hs para tan solo impactos en terrenos complejos, el resto son estimaciones de concentraciones en promedios de 1 hora.
- Hay recomendaciones de ajustes para las salidas de promedios horarios de 1 hora estimarlos en 24 horas. Aunque esto agrega una imprecisión más.
- No estima para periodos estacionales o anuales y se pueden hacer cálculos manuales para lograr esas estimaciones. Hay directivas de EPA sobre eso para los modelos exploratorios.

¿En qué se diferencia de los cálculos hecho a mano con las ecuaciones de un modelo gaussiano?

En general las diferencias entre el SCREEN3 y los cálculos que uno puede hacer a mano difieren por lo menos en un 5% a través del rango de fuentes características. No obstante en otras situaciones la diferencias pueden ser mayores. Es útil para los usuarios del SCREEN3 tener presente las diferencias que puede resultar en algunas situaciones si uno hace el calculo a mano. Para algunas fuentes, particularmente fuentes más altas con mayor flotabilidad, las diferencias en las concentraciones estimadas serán mayores; el cálculo manual excederá el resultado del modelo exploratorio hasta en un 25 por ciento.

El modelo SCREEN3 puede proporcionar concentraciones estimadas, para distancias inferiores a 100 metros (hasta un metro como en otros modelos regulatorios), mientras que los cálculos a mano utilizados de la bibliografía se limitan a distancias mayores o iguales a 100 metros. El modelo SCREEN3 tampoco está limitado a plumas de menos de 300 metros de altura, mientras que los cálculos a mano lo son. En ambos casos, se debe tener precaución al interpretar los resultados que están fuera del rango de las ecuaciones presentadas en la bibliografía.

Pero lo más destacable del SCREEN3 es que puede examinar una gama completa de condiciones meteorológicas, incluyendo todas las clases de estabilidad y velocidades del viento (*full meteorological conditions*), para así encontrar las situaciones de impactos máximos, mientras que con el calculo a mano solo es posible manejar solo un subconjunto de condiciones meteorológicas (las clases de estabilidad A, C y E o F) que son las que probablemente más contribuyen a situaciones de concentraciones máximas.



El SCREEN3 puede para cada distancia de la fuente, la condición meteorológica que produciría allí la mayor concentración del contaminante y ofrece ese valor de concentración.

El SCREEN3 calcula explícitamente las concentraciones teniendo en cuenta los efectos de las múltiples reflexiones de la pluma en capas elevadas de inversión y con el suelo cuando hay condiciones de mezcla limitadas por superficies. Para tener en cuenta estas reflexiones, el procedimiento de selección de cálculo manual aumenta las concentraciones máximas calculadas para la estabilidad A por un factor que varía de 1,0 a 2,0. El factor pretende ser una estimación conservadora del aumento debido a la mezcla limitada, y puede ser un poco mayor (alrededor de 5 a 10 por ciento) que el aumento obtenido del SCREEN3 usando las reflexiones múltiples, dependiendo de la fuente.

Además, el SCREEN3 modela la situación de cuasi neutral/ alta velocidad de viento examinando un rango de velocidades de viento para la clase de estabilidad C y seleccionando la máxima. Por el contrario, los cálculos manuales se basan en la concentración máxima estimada utilizando la clase de estabilidad C con una velocidad del viento crítica calculada y una velocidad del viento de 10 m/s a 10 metros. Esta diferencia debe dar como resultado diferencias en las concentraciones máximas de menos del 5 por ciento para aquellos. Esta diferencia debe resultar en diferencias de menos del 5% en el cálculo del máximo de las concentraciones, para aquellas fuentes donde la situación de cuasi neutral/alta velocidad del viento está controlada.

Los resultados del SCREEN3 también incluyen los efectos de la dispersión inducida por flotabilidad (BID), que no se tienen en cuenta en los cálculos manuales (excepto para la fumigación). La inclusión de BID en SCREEN3 puede aumentar o disminuir las concentraciones estimadas, según la fuente y la distancia. Para fuentes con alturas de penacho por debajo del límite de 300 metros de los cálculos manuales, el efecto de BID en las concentraciones máximas estimadas generalmente será menor que aproximadamente ± 10 por ciento. Para fuentes elevadas con flotabilidad relativamente grande, se puede esperar que la inclusión de BID reduzca la concentración máxima estimada hasta en un 25 por ciento.

¿Qué constituye las condiciones reglamentarias (*regulatory*) predeterminadas en el SCREEN3?

La redacción de regulaciones o reglamentos es una de las herramientas más importantes de las agencias gubernamentales para proteger el ambiente. Los requisitos regulatorios ayudan a aplicar de igual manera las normativas ambientales aprobadas por las autoridades, y pueden aplicarse a individuos, empresas, gobiernos estatales o locales, instituciones sin fines de lucro u otros, de manera uniforme en todo un país.

En el SCREEN3 los aspectos reglamentarios (*regulatory*), se refieren obviamente para los Estados Unidos de America.

- 1) Seleccione las características, adecuadas, de las fuentes de emisión
- 2) Seleccione las apropiadas opciones reglamentarias
- 3) Entonces use las opciones (recomendadas) de *default* regulatorias (para USA)

Consulte su legislación local para saber que es reglamentario y que es de libre elección al correr el modelo.



Actividad Guía para un primer uso del SCREEN3

Da doble clic en el ejecutable SCREEN3.exe y familiarícese con él jugando

Enter title for this run:

Al empezar debemos elegir un nombre para el archivo a generar. Cada vez que lo corras deberás darle un nombre a tu corrida para identificarla.

TOMEN LOS SIGUIENTES VALORES PARA UNA PRIMERA APROXIMACIÓN AL USO DE ESTE PROGRAMA – No es lo que deben hacer en el Trabajo Práctico.

Enter Source Type

Ahora te pregunta sobre el tipo de fuente. Si es puntual, areal, de volumen, o de llama. Si usas alturas no regulatorias de los anemómetros, alturas de mezcla, etc.

Vamos a pedirle que modele para una chimenea, fente puntual (P) for Point – Puntual, y nada más.

No tenemos información de anemómetros especiales ni queremos cuestiones no reglamentarias que no nos incumbe aquí, ni edificios, ni montañas delante de la pluma, ni calcular la concentración en cavidades producidas (aguas abajo) por edificios. Bien sencillito.

A continuación te pedirá:

Enter Emission Rate (g/s) → tomemos 200 miligramos/seg
(recuerden que el programa es de la EPA USA así que es conveniente usar los puntos como comas)

Stack Height (m) → tomemos 50 metros.

Stack Inside Diameter (m) → (No se usaba para el cálculo que se hizo a mano con la ecuación gaussiana). Tomemos 2,5 metros

A continuación pide una serie de opciones:

Stack Gas Exit Velocity or Flow Rate (Tampoco lo usaban para el cálculo que se hizo a mano)

OPTION 1: La velocidad de salida de los gases de la chimenea. Solo se debe entrar un número y lo toma o entiende. Tomemos 25 m/seg

OPTION 2: El flujo volumétrico de la chimenea (m³/s) En tal caso hay que escribir VM=el valor. En esta prueba no lo usaremos

OPTION 3: El flujo volumétrico en ACFM. En ese caso hay que escribir VF=el valor numérico en ACFM. En esta prueba no lo usaremos

Stack Gas Exit Temperature (K) → Nos pide la temperatura en Kelvin de los gases de la chimenea. Un valor razonable podría ser (y tomemos) 177° C

Ambient Air Temperature (K) → Nos pide la temperatura ambiente en Kelvin (A 10m de altura) Podría ser unos 20° C.

Estos datos los pide para determinar el empuje del gas saliendo por la chimenea o mejor dicho la altura efectiva de la chimenea He.



Receptor Height Above Ground (m) → Supongamos que queremos a la altura de la nariz de una persona. Tomemos 1,50 m

Urban/Rural Option (U – R) → Nos pide el tipo de terreno o topografía en la vecindad. U (o 1) para Urbano o R (o 2) para Rural. Usemos U (Urban), una ciudad. Si el 50% o más del área que rodea la fuente, en un entorno de 43 km, es urbana se debe considerar Urbana¹

Consider Building Downwash in Calcs? /Y or N) → Quiere saber si debe tener en cuenta cavidades producidas por edificios frente al flujo de viento (aguas abajo). El Screen3 usualmente tiene dos opciones para elegir: Reglamentarias y No Reglamentaria. Para mayor detalle ver el manual. **Tomemos N.** No consideraremos edificios próximos o en la vecindad de altura o volumen tal que produzcan *downwash*. Estamos considerando un terreno plano, en una zona urbana, sin montañas ni edificios altos en la vecindad.

Use Complex Terrain Screen For Terrain Above Stack Height

Esta opción permite al usuario estimar los impactos para los casos en que las elevaciones del terreno superen la altura de la chimenea Si el usuario elige esta opción, SCREEN calculará una altura final estable de la pluma y la distancia hasta la elevación final para la técnica de estimación en 24 horas del modelo VALLEY. Esta elección asume la “clase de estabilidad” F para rural (E para urbano) y una velocidad del viento a la altura de la chimenea de 2,5 m/s. Para mayores detalles ver la página 11 del manual.

Consideraremos en esta ejercitación: N no.

Use Simple Terrain Screen with Terrain Above Stack Base

Permite estimar como antes, terreno elevados (aguas abajo) pero cuya altura es menor a la de la chimenea pero mayor a la de la base de la chimenea.

Consideraremos N no, la misma suposición que antes, no hay ningún terreno plano simple más alto que la base de la chimenea.

Si pide **Terrain Height above Stack Base** usaremos 0 metros. Vamos a suponer que la base de la chimenea y el terreno plano donde puede estar una persona y donde queremos el cálculo de la concentración están a la misma altura.

Choice of Meteorology

- 1- Full Meteorology
- 2- Input single stability class
- 3- Input single stability class and wind Speedy

Esta es una parte importante de la corrida del programa.

En esta ejercitación le pediremos que practique con dos corridas.

Una que considere **todas las situaciones meteorológicas de estabilidad posible (Opción 1)** y nos dará a cada distancia cuál estabilidad y velocidad del viento ofrece la mayor concentración del contaminante. En esta situación una distancia no es comparable a otra ya que son diferentes situaciones meteorológicas.

¹ Para mayor información ver *Section 8.2.8 del Appendix W del 40 CFR Part 51 (Guideline on Air Quality Models)*.



Luego en otra corrida (de esta ejercitación) consideraremos un día en especial con una estabilidad dada y una velocidad de viento (a 10m de altura) dada. En esa corrida los resultados son todos referidas a las mismas condiciones meteorológicas. (Opción 3)².

Wind Speed la del día en cuestión o la velocidad predominante a 10 metros de altura
Atmospheric Stability – Pide un numero relacionado con las estabilidades atmosfericas

Automated Distance Array ¿ Y or N? → se refiere a cada cuántos metros hará el cálculo. Si colocan **Y**, le pediremos que nos haga los cálculos cada tanto, un Δx automático.

Elegiremos esta opción en esta ejercitación

Si colocan **N/no**, entonces no lo hace automáticamente y pide en consecuencia:

Use Discrete Distance (Y or N) →

Si le colocan **Y** si, calculas las concentraciones a distancias especificas dada por uno. Empieza a pedirles a qué distancia quieren que le calcule, y hay que ir dando uno por uno los valores. Por ejemplo a 500m 250m 10m. Poniendo cero (0) finaliza el cálculo. En esta ejercitacion lo usaremos en la otra corrida dándole una distancia donde queremos que la calcule.

Si colocan **N no**, termina y no calcula nada

Como elegimos en el punto anterior que calcule automáticamente un arreglo de distancias (**Y**) de cálculo entre una distancia mínima y una distancia máxima entonces aparecerá:

Enter Min and Max Distance to Use (m) → Podemos pedirle (por ejemplo) que lo calcule entre 10m y 50km

Colocando 10 ENTER y luego 50000 ENTER

O también admite 10 50000 o también admite 10,50000

Y ya ofrece el listado de los resultados.

Luego pregunta si se desea calcular nuevamente a una distancia discreta **USE DISCRETE DISTANCES? Y N**

Si elegimos N/no finaliza los cálculos y a continuación aparecerá un resumen (SUMMARY) dando para el procedimiento de cálculo (**Simple Terrain**) dónde (**DIST TO MAX**) ocurre la máxima concentración del contaminante (**MAX CONC**) y a que altura de terreno (**TERRAIN HT**).

Si queremos además que nos estime la concentración a una distancia por ejemplo de 450 metros le damos Y y luego le ponemos 450.

Sin embargo, si se le pide distancias superiores a 50 km, SCREEN establece la velocidad mínima del viento a **10 metros en 2 m/s para evitar tiempos de transporte poco realistas.**

Observe qué sucede y lea atentamente que le está dando cada columna y en qué unidades. ¿Dónde está el máximo de concentración y cuánto vale? ¿Es el máximo verdadero? ¿Cuál es la altura efectiva de la chimenea? ¿Cuales son los coeficientes de dispersión vertical Z y horizontal Y?

² Si quieres puedes probar para una condición de estabilidad atmosférica usual en la zona para un día dado y una determinada velocidad del viento para un día en cuestión que se hicieron mediciones. Puedes probar con OPCION 2 o 3



Una vez que pregunta si se desea imprimir una HARDCOPY o no. EL Screen3 archivara la salida en un archivo denominado SCREEN.OUT

----- RESULTADOS -----

Se generara un archivo de salida SCREEN.out en la misma carpeta donde esta el ejecutable SCREEN3.exe

Buscar por fecha y hora en la carpeta donde se descomprimieron todos los archivos el último

Aparecerá un SCREEN.out tiene los resultados de la corrida

Aparecerá también un archivo SCREEN.DAT que tiene los datos de lo que ustedes cargaron y también se abre tirándolo dentro de un Excel.

Luego salvan cada Excel con nombre apropiados y pueden volver a correr el SCREEN3 para otros casos.

Nomenclatura de tabla de salida

DIST (m) Distancia desde la chimenea donde está calculando la concentración.

CONC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Valor calculado de la concentración en promedio temporal de 1 hora

STAB Estabilidad usada para el cálculo

U10M (m/s) Velocidad del viento a 10m de altura utilizada para el calculo

USTK (m/s) Velocidad del viento estimada a la altura de la chimenea

MIX HT (m) Altura

PLUME HT (m) Altura calculada de la pluma con el empuje.

SIGMA Y (m) Dispersión horizontal en Y calculada y corregida

SIGMA Z (m) Dispersión horizontal en Z calculada y corregida

DWASH Si hubo cálculos de downwash

Base teórica del SCREEN3

En la evolución de la pluma considera cuatro fases:

- Una fase inicial de expulsión
- La fase termal o térmica
- La fase de ruptura o despegue
- La fase de difusión

Si no hay efectos de *downwash* por la presencia de obstáculos presente, los factores que influencia son

- La velocidad de salida de los gases de la chimenea
- La temperatura de esos gases al salir
- El diámetro de la chimenea
- La temperatura ambiente
- La velocidad del viento a la altura de la chimenea
- El perfil del viento con la altura
- La estabilidad atmosférica.

El SCREEN3 utiliza básicamente un modelo de pluma gaussiana. Considera que el contaminante no sufre ninguna reacción química, y ningún otro proceso de eliminación, como ser la deposición húmeda o seca, esto implica una peor situación que si el contaminante se fuera extinguiendo. Es así software tiene en cuenta múltiples reflexiones.

La ecuación básica para determinar el nivel del suelo concentraciones bajo la línea central del penacho es

$$C(x,0,z_r) = \frac{Q}{(2 \pi u_s \sigma_y \sigma_z)} \left\{ \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{(z_r - h_e)}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{(z_r + h_e)}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \sum_{N=1}^k [\dots] \right\}$$

$$\sum_{N=1}^k [\text{reflexiones}] = \sum_{N=1}^k \left[\exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{(z_r - h_e - 2Nz_i)}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{(z_r + h_e - 2Nz_i)}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \dots \right]$$

$$\left[\exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{(z_r - h_e + 2Nz_i)}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{(z_r + h_e + 2Nz_i)}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right]$$

Donde

C(x,0,z) = concentración (g/m³) en el plano x-z

Q = tasa de emisión del contaminante (g/s)

π = el numero 3,141593

exp = es el número e (2,7182818284590)

u_s = la velocidad del viento a la altura de la salida de la chimenea.



σ_y = dispersión lateral horizontal (m)

σ_z = dispersión lateral vertical (m)

z_r = la altura del receptor desde el suelo (m)

h_e = la altura desde el suelo de la línea central de la pluma (m). Altura efectiva de la chimenea.

z_i = la altura desde el suelo de la base de la capa de inversión (m)

k = el limite de la suma para múltiples reflexiones de la pluma en el suelo y en la altura de inversión, usualmente mayor o igual a 4

σ_y , σ_z los calcula el programa a través de ecuaciones detalladas más adelante

h_e lo calcula el programa.

u_s lo calcula el programa.

Q es dato de entrada requerido.

¿Qué está suponiendo esta ecuación?

- Que la emisión es continua y la concentración a una distancia x no varia en el tiempo. Observe que no está t .

- Que la evalúa a lo largo del eje central $Y=0$ por eso en los exponenciales no aparece el sigma Y si debajo de la Q

- Hace las cuentas considerando la dispersión a lo largo del eje Z con la altura por eso aparece Z_r y X y los sigmas Z en las exponenciales.

- Para condiciones estables y/o alturas de mezcla mayor o igual a 10.000 m, se supone una mezcla ilimitada y el término de sumatoria de las reflexiones se asume cero.

El SCREEN3 examina una variedad de clases de estabilidad y velocidades del viento para identificar las condiciones meteorológicas correspondientes al "peor caso", es decir, la combinación de las velocidades del viento y las estabilidades que resulten en las máximas concentraciones a nivel del suelo. Ver en el manual esas combinaciones.

Las velocidades del viento, a la altura de la salida de la chimenea, es estimada con el dato de la velocidad del viento a 10 metros; y ajustada utilizando los exponentes de la ley de potencia del perfil del viento.

Para alturas de liberación de menos de 10 metros, las velocidades del viento se utilizan sin ajuste. Para distancias superiores a 50 km (disponible con la opción de distancia discreta), SCREEN3 establece 2 m/s como límite inferior para la velocidad del viento de 10 metros para evitar tiempos de transporte poco realistas. En el manual hay una tabla de combinaciones de viento y estabilidades, que incluye algunos casos que pueden no considerarse combinaciones estándar de clase de estabilidad/velocidad del viento, desarrolladas por Turner en 1964, a saber, E con vientos inferiores a 2 m/s, y F con vientos superiores a 3 m/s. Consultar el manual para más información sobre estas combinaciones de estabilidad y velocidades del viento.

La altura de mezcla utilizada en el SCREEN3 para situaciones neutral e inestable (clases A-D) se basa en una estimación de la altura de mezcla forzada (impulsada) mecánicamente. La altura de mezcla mecánica, z_i (m), se calcula (Randerson, 1984) como

$$Z_i = 0,3 \frac{u^*}{f}$$

Donde

u^* = velocidad de fricción (m/s)

f = parámetro de Coriolis ($9,374 \times 10^{-5}$ a 40° de latitud)

Utilizando un perfil logarítmico lineal de la velocidad del viento, y suponiendo (asumiendo) una longitud de rugosidad, de la superficie, de aproximadamente 0,3 m, se estima u^* a partir de la velocidad del viento a 10 metros, u_{10} , como

$$u^* = 0,1 u_{10} \quad (**)$$

Sustituyendo u^* en la ecuación anterior

$$z_i = 320 u_{10}$$

La altura de mezcla forzada mecánicamente se toma como la altura mínima de mezcla diurna. Para ser conservadores en los cálculos de mezcla limitada, si el valor de z_i de la ecuación (**) es menor que la altura de la pluma, entonces la altura de mezcla utilizada para calcular la concentración se establece igual a $h_e + 1$. Para condiciones estables, la altura de mezcla se configura igual a 10.000 m para representar una mezcla ilimitada.

Elevación de la pluma para fuentes puntuales

Para estimar la altura de elevación de la pluma (Δh) se utiliza el método de Briggs o el algoritmo para downwash de Schulman-Scire. Depende si es una chimenea o una antorcha.

Briggs dividió los penachos de contaminación del aire en cuatro categorías generales:

- Penachos de chorro frío (*cold jet plume*) en condiciones de aire ambiente en calma.
- Penachos de chorro frío en condiciones de aire ambiente ventoso.
- Penachos calientes y en consecuencia ascendentes/flotantes en condiciones de aire ambiente en calma.
- Penachos calientes y ascendentes/flotantes en condiciones de aire ambiente ventoso.

Briggs consideró que la trayectoria de las plumas de los chorros fríos estaba dominada por **su impulso de velocidad inicial**, y la trayectoria de las plumas flotantes calientes estaba dominada por **su impulso de flotación** (*buoyant*) en la medida en que su impulso de velocidad inicial era relativamente poco importante. Aunque Briggs propuso ecuaciones de elevación de la pluma para cada una de las categorías de plumas anteriores, es

importante enfatizar que "las ecuaciones de Briggs" que se utilizan ampliamente son las que propuso para plumas inclinadas y flotantes calientes.

Dos son los forzantes:

- La cantidad de movimiento al salir de la chimenea
- La flotabilidad por el empuje

En determinadas situaciones puede dominar uno u otro.

El parámetro para el flujo debido a la flotabilidad (F_b) para una fuente puntual (no para antorchas) es

$$F_b = g v_s d_s^2 \frac{(T_s - T_a)}{(4T_s)}$$

Para una antorcha la fuerza ascendente se estima como

$$F_b = 1,66 \times 10^{-5} \text{ Heat}$$

Donde H es el calor total liberado por la antorcha (en cal/s). Para mayores detalles (para el modelado de antorchas) ver el manual del SCREEN3 o el del ISC3.

El parámetro para el flujo por la cantidad de movimiento (F_m) o el impulso es

$$F_m = \frac{v_s^2 d_s^2}{4} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)$$

La guía del usuario de ISC (EPA, 1995b) describe las ecuaciones utilizadas para estimar la elevación de la pluma por flotabilidad y por el impulso de salida, para condiciones inestables/neutrales y estables. También se describen la elevación transicional de la pluma y cómo estimar la distancia de la elevación final. El ascenso final de la pluma se usa en SCREEN para todos los casos con la excepción del procedimiento para terrenos complejos y para efectos del downwash.

Con esos parámetros se puede resumir las elevaciones utilizadas

	Inestable y neutra	Estable
Flotabilidad	$\Delta h = \frac{1,6 F_b^{1/3} (3,5 x^*)^{2/3}}{u}$	$\Delta h = 2,6 \left(\frac{F_b}{u s} \right)^{1/3}$
Impulso o cantidad de movimiento	$\Delta h = \frac{3 d_s v_s}{u}$	$\Delta h = 1,5 \left(\frac{F_m}{u \sqrt{s}} \right)^{1/3}$

Las fórmulas de elevación de penachos de fuente lineales por flotabilidad que se utilizan para el esquema de Schulman-Scire downwash se describen en la Sección 1.1.4.11 del

Volumen II de la guía del usuario de ISC (EPA, 1995b). Estas fórmulas se aplican a fuentes donde $h_s \leq H_b + 0,5 L_b$. Para fuentes sujetas a downwash pero que no cumplen con este criterio, el algoritmo para downwash que se utiliza es el de Huber y Snyder (EPA, 1995b), que emplean las fórmulas de elevación de la pluma de Briggs mencionadas anteriormente.

Dispersión inducida por la flotabilidad

En todo el modelo SCREEN, con la excepción del algoritmo de Schulman-Scire para el downwash, los parámetros de dispersión σ_y , σ_z , se ajustan para tener en cuenta los efectos de la dispersión inducida por la flotabilidad, de la siguiente manera:

Dispersión inicial de la pluma

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = \frac{\Delta h}{3,5}$$

Coefficientes efectivos de dispersión

$$\sigma_{ye} = \left(\sigma_y^2 + \left(\frac{\Delta h}{3,5} \right)^2 \right)^{0,5} = \left(\sigma_y^2 + (\sigma_{y0})^2 \right)^{0,5}$$

$$\sigma_{ze} = \left(\sigma_z^2 + \left(\frac{\Delta h}{3,5} \right)^2 \right)^{0,5} = \left(\sigma_z^2 + (\sigma_{z0})^2 \right)^{0,5}$$

Donde Δh es la distancia de elevación de la pluma. Note la elevación del penacho dependiente de la distancia. (Tenga en cuenta que para capa de inversión y en situación de fumigación costeras, las distancias son siempre más allá de la distancia de elevación final, y por lo tanto Δh es la elevación final del penacho.

Efecto aguas abajo de un edificio (*Downwash building*)

a) *Región de la cavidad de recirculación*

Si se introducen dimensiones de un edificio (distintas de cero) para cada punto o liberaciones de llamas, entonces los cálculos de la cavidad serán hechos de la siguiente manera.

La altura de la cavidad, h_c (en m), se estima en base a en la siguiente ecuación de Hosker (1984):

$$h_c = h_b \left(1,0 + 1,6 \exp \left(\frac{-1,3 L}{h_b} \right) \right)$$

Donde

H_b = la altura del edificio (m)

L = el largo del edificio en la dirección del viento (m)

Usando la altura de la pluma basada en elevación por cantidad de movimiento (o impulso) en dos alturas de edificio a sotavento, incluyendo el downwash del pico de la chimenea, se calcula una velocidad del viento crítica, a la altura de la chimenea, (es decir, mínimo)

que pondrá la pluma dentro de la cavidad (definida por la altura de la línea central de la pluma = altura de la cavidad).

La velocidad crítica del viento, es entonces ajustada a partir de altura de la chimenea a 10 metros, usando una ley exponencial con un exponente de 0,2 para representar condiciones neutras (no se intenta diferenciar entre sitios urbanos o rurales o diferentes clases de estabilidad). Si la velocidad crítica del viento (ajustada a 10 metros) es menor o igual a 20 m/s, entonces una concentración en la cavidad es calculada, de lo contrario se supone que la concentración de la cavidad es cero. Las concentraciones dentro de la cavidad, C_c , se estiman mediante la siguiente aproximación (Hosker, 1984):

$$C_c = \frac{Q}{(1,5 A_p u)}$$

Donde:

Q = tasa de emisión (g/s).

$A_p = H_b \cdot W$ = el área de una sección transversal al edificio y normal al viento (m^2).

W = dimensión ortogonal al viento del edificio (m).

u = velocidad del viento (m/s).

Para u , se utiliza un valor de la mitad de la velocidad crítica del viento a la altura de la chimenea, pero no superior a 10 m/s ni inferior a 1 m/s. Así, el cálculo de C_c está ligado a la determinación de una velocidad crítica del viento. La concentración C_c en la cavidad se supone uniforme dentro de la cavidad.

La longitud de la cavidad, x_r , medida desde el final del edificio (a sotavento) es estimada con las ecuaciones de Hosker, 1984.

(1) para edificios cortos ($L/h_b \leq 2$),

$$x_r = \frac{(A)(W)}{1,0 + B \left(\frac{W}{h_b} \right)}$$

(2) para edificios largos ($L/h_b \geq 2$)

$$x_r = \frac{1,75 (W)}{1,0 + 0,25 \left(\frac{W}{h_b} \right)}$$

Donde:

h_b = altura del edificio (m).

L = dimensión del edificio a lo largo de la dirección del viento (m).

W = la dimensión del edificio transversal (ortogonal) a la dirección del viento (m).

$A = -2,0 + 3,7 (L/h_b)^{-1/3}$, y

$B = -0,15 + 0,305 (L/h_b)^{-1/3}$

Las ecuaciones anteriores para la altura de la cavidad, la concentración en la cavidad y la longitud de la cavidad son todas sensibles a la orientación del edificio a través de los términos de L, W y Ap. Por lo tanto, todo el procedimiento para cavidades es realizado para dos orientaciones, primero con la mínima dimensión a lo largo del viento y segundo con la máxima dimensión a lo largo del viento. Con fines exploratorios, se cree que esto proporciona límites razonables en las estimaciones de la cavidad. El primer caso maximizará la altura de la cavidad y, por lo tanto, minimizará la velocidad crítica del viento. Sin embargo, el término Ap también será mayor y tenderá a reducir las concentraciones. La concentración más alta que potencialmente afecte la calidad del aire ambiente debe ser usado como el valor de control para el procedimiento de evaluación de las cavidades.

b) Región de la estela

Los cálculos para la región de estela dejada por detrás del edificio se basan en los del ISC (EPA, 1995b). Los efectos de estela se dividen en dos regiones, una conocida como la "estela cercana" que se extiende desde 3L_b a 10L_b (L_b es la menor de las altura del edificio, h_b, y ancho máximo proyectado), y la otra es conocida como la "estela lejana" para distancias superiores a 10 L_b. Para el modelo SCREEN, el máximo ancho proyectado es calculado a partir de los datos de entrada (mínimo y máximo) de las dimensiones horizontales como (L² + W²)^{0,5}. El resto de los cálculos de la estela dejada por el edificio, en el SCREEN, se basan en lo detallado en la guía para el usuario del ISC (EPA, 1995b).

Cabe señalar que, a diferencia de los cálculos para las cavidades, la comparación de la altura de la pluma (debido al elevación por el impulso en dos alturas de edificio) con la altura de la estela para determinar si aplican efectos de la estela no incluye el downwash producido por del pico de la chimenea. Esto se hace para ser consistente con el modelo ISC.

Situación de fumigación

Los cálculos del SCREEN para la "inversion break-up" se basan en los procedimientos descritos en el libro Manual para las Estimaciones de la Dispersión Atmosférica de Turner (1970). La distancia de máxima fumigación está basada en la estimación del tiempo requerido para que la capa de mezcla se desarrolle desde la parte superior de la chimenea hasta la parte superior de la pluma, utilizando ecuación 5.5 de Turner (1970):

$$X_{m\acute{a}x} = u t_m = \left(\frac{u p_a c_p}{R} \right) \left(\frac{\Delta\Theta}{\Delta z} \right) (h_i - h_s) [(h_i + h_s) / 2]$$

Donde:

X_{máx} = la distancia a sotavento donde se haya la máxima concentración (m).

t_m = el tiempo requerido para que la capa de mezcla se desarrolle desde el tope de la chimenea hasta el tope de la pluma (s).

u = la velocidad del viento (se asume 2,5 m/s)

ρ_a = densidad del aire ambiente (1205 g/m^3 a 20° C)

c_p = calor específico del aire a presión constante ($0,24 \text{ cal/g K}$)

R = tasa neta de calor sensible de una columna de aire por la radiación solar (cerca de $67 \text{ cal/m}^2 \text{ s}$)

$\Delta\Theta/\Delta z$ = gradiente vertical de la temperatura (se asume $0,035 \text{ K/m}$ para estabilidad F)

h_i = altura del tope de la pluma (m) = $h_e + 2\sigma_{ze}$ (h_e es la altura línea central de la pluma)

h_s = la altura real o física de la chimenea (m)

σ_{ze} = parámetro de dispersión vertical incorporando la dispersión inducida por flotabilidad

Los valores de u de $\Delta\Theta/\Delta z$ están basados en suponer condición de estabilidad de clase F y velocidad del viento a la altura de la chimenea de 2,5 m/s para capas estables por encima de la inversión. El valor de h_i incorpora el efecto de la dispersión inducida por flotabilidad sobre σ_z , sin embargo, efectos de terrenos elevados son ignorados. La ecuación anterior se resuelve por iteración, iniciando desde un valor de $X_{max} = 5.000 \text{ m}$.

La máxima concentración al nivel del suelo debida a la fumigación por la inversión, X_f , es calculada por la ecuación 5.2 de Turner (1970).

$$X_f = \frac{Q}{[(2\pi)^{0,5} u (\sigma_{ye} + h_e / 8)(h_e + 2\sigma_{ze})]}$$

Donde:

Q es la tasa de emisión (g/s) y los otros términos ya fueron definidos arriba.

Los parámetros de dispersión σ_{ye} , σ_{ze} incorporan los efectos de la dispersión inducida por flotabilidad. Si la distancia al máximo de fumigación es de menos de 2.000 m, entonces el SCREE $X_f=0$

Si la distancia a la fumigación máxima es inferior a 2.000 m, entonces el SCREEN establece $X_f = 0$ ya que para distancias tan cortas la concentración de fumigación no es probable que supere la concentración de mezcla inestable/limitada, estimada por el procedimiento exploratorio de evaluación de un simple del terreno.

Fumigación en zonas costera.

.....este apunte continuará. El año que viene estará mejor



Materia: **Modelado de la Calidad del Aire**
Lic. en Ciencias Ambientales – Fac. de Agronomía - UBA

Sitios de información

- <https://www.envis.org/technology/air-pollution/951-briggs-plume-rise-equation>

- <https://www.trinityconsultants.com/news/-Dispersion-Modeling-New-Downwash-Calculations-Change-the-Playing-Field>

Fac. de Agronomía de la UBA - Modelado de la calidad del aire