

Modelado de la Calidad del Aire

AERMOD: Fundamentos

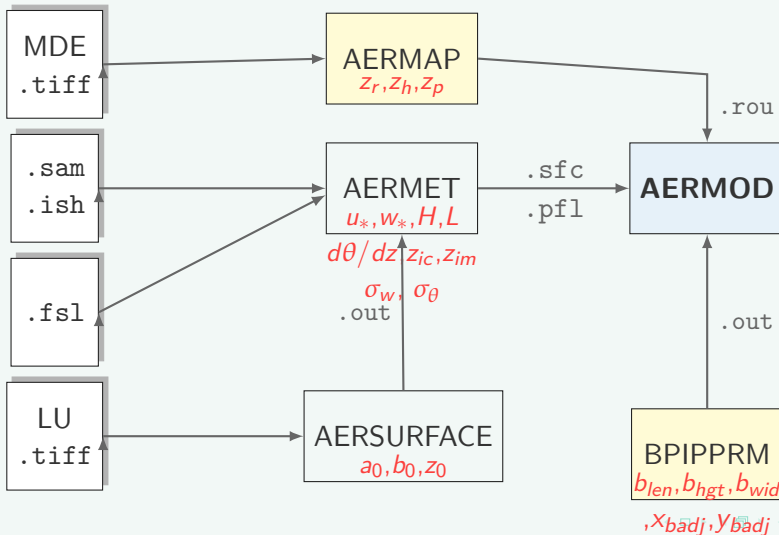
Ramiro A. Espada
espada@agro.uba.ar

Consultora Oeste

September 5, 2024

AERMOD

Sistema de modelado



AERMOD

Características generales

- ▶ Modelo de pluma gaussiano de estado estacionario.
- ▶ Usa parametrización continua para los coeficientes de dispersión ($\sigma_{y,z}$).
- ▶ Caracteriza la capa límite, usando la teoría de similitud para representar las variables en el perfil de esta.
- ▶ Contempla inhomogeneidades de la PBL mediante el uso de *variables efectivas*.
- ▶ Representa la dispersión en terrenos complejos.
- ▶ Contempla corrientes ascendentes y descendentes mediante una distribución vertical bi-gaussiana.
- ▶ Representa *plume lofting* y la inyección de plumas flotantes a capas estables.

Interfaz meteorológica

Cálculo de perfiles

Perfil de viento

Sigue el típico patron logarítmico:

$$u(z) = \begin{cases} u(z_i) & z > z_i \\ \frac{u_*}{\kappa} \left[\ln \frac{z}{z_0} - \Psi(z/L) + \Psi(z_0/L) \right] & 7z_0 < z < z_i \\ \frac{z}{7z_0} u(7z_0) & z < 7z_0 \end{cases}$$

Para condiciones estables:

$$\Psi\left(\frac{z}{L}\right) = 17 \exp\left(-0.29 \frac{z}{L}\right)$$

En condiciones inestables:

$$\Psi\left(\frac{z}{L}\right) = 2 \ln \frac{2 - 16 z/L}{2} + \ln \frac{1 + (1 - 16 z/L)^2}{2} - 2 \arctan((1 - 16 z/L) + \pi/2)$$

Cálculo de variables efectivas

El proceso de calcular variables efectivas puede resumirse en:

- ▶ Cálculo de altura del centroide de la pluma (h_c)
- ▶ Cálculo de σ_z en base a los valores de σ_w y h_c
- ▶ Se considera el menor de los intervalos entre h_c y el receptor (z_r) ó entre h_c y $2.15\sigma_z$ en la dirección del receptor.
- ▶ La variable de interés es integrada entre el intervalo vertical definido en el paso previo y dividido por el dicho intervalo para obtener la variable efectiva.

Por ejemplo, la velocidad efectiva: ¹

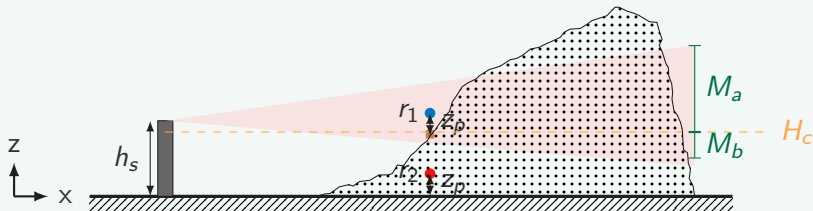
$$\tilde{u} = \frac{1}{h_c - z_r} \int_{z_r}^{h_c} u(z) dz$$

¹No confundir con la velocidad promedio $\bar{u} = 1/z_i \int_0^{z_i} u(z) dz$

Cálculo de concentraciones

Terreno complejo

AERMOD calcula dos plumas: una ignorando el terreno y otra siguiendo el terreno.



la concentración final es la suma ponderada de estas dos: ²

$$C_{tot} = f C_{ref} + (1 - f) C_{terr}.$$

²donde $f = 0.5 + 0.5\varphi_p$ y $\varphi_p = M_b / (M_a + M_b)$. M_a Masa sobre H_c y M_b masa por debajo de H_c . H_c : critical dividing streamline, depende de h_c : hill slope scale (calculado en AERMAP).

Cálculo de dispersión

Fórmula general

$$\bar{c} = \frac{Q}{\tilde{u}} \varphi_y \varphi_z$$

φ_y es la dispersión horizontal:

$$\varphi_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)$$

la dispersión vertical φ_z también tiene forma *gaussiana* en **atmósferas estables**:

$$\varphi_z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(z + h_c)^2}{\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(z - h_c)^2}{\sigma_z^2}\right] \right\}$$

donde h_c es la altura del centro de la pluma.

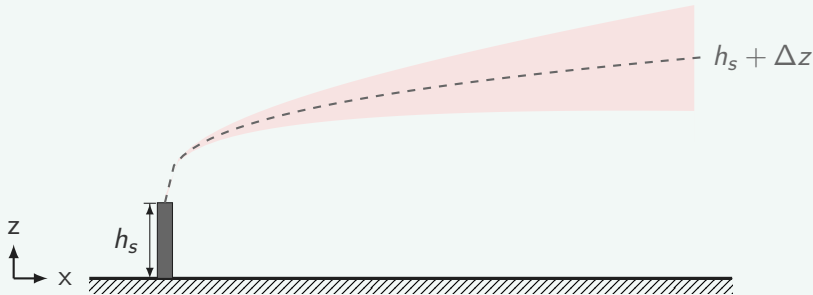
$$h_c = h_s + \Delta z$$

Cálculo de dispersión

Elevación de la pluma (*plumerise*)

La elevación se calcula usando los flujos de momentum (F_m) y empuje (F_b)³

$$\Delta z = \left(\frac{3 F_m x}{0.36 u_{(h_s)}^2} + \frac{3 F_b x}{0.72 u_{(h_s)}^3} \right)^{1/3}$$

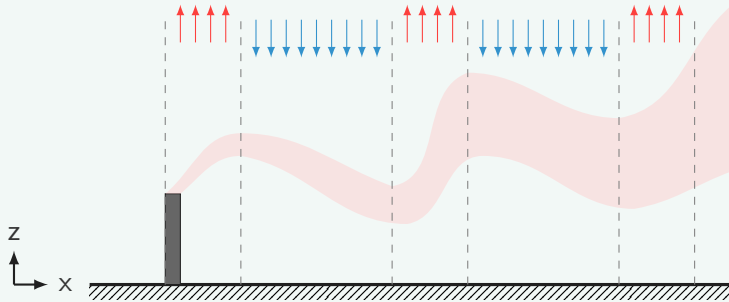


³donde $F_m = w_s^2 r_s^2 T / T_s$ y $F_b = g w_s r_s^2 \Delta T / T_s$

Cálculo de dispersión

Updrafts y Downdrafts

Bajo condiciones **inestables** hay corrientes verticales ascendentes y descendentes:



la concentración promedio resultante es una función Gaussiana asimétrica, que AERMOD calcula usando un φ_z bi-gaussiano.

Cálculo de dispersión

en atmósferas convectivas

Para **atmósferas convectivas** la distribución vertical es *bi-gaussiana*:⁴

$$\varphi_z = \underbrace{\frac{\lambda_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z1}} \exp\left(-\frac{(z - z_{c1})^2}{2\sigma_{z1}^2}\right)}_{\text{updraft}} + \underbrace{\frac{\lambda_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z2}} \exp\left(-\frac{(z - z_{c2})^2}{2\sigma_{z2}^2}\right)}_{\text{downdraft}}$$

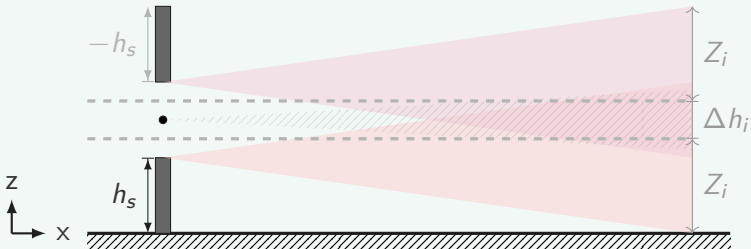
donde z_c es la altura del centro de la pluma:

$$h_{c1} = h_s + \Delta z + \frac{w_1 x}{u} \quad h_{c2} = h_s + \Delta z + \frac{w_2 x}{u}$$

⁴ λ_i coeficiente de partición tal que: $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$

Cálculo de dispersión

Para representar el efecto de *lofting* y el ingreso de la pluma a una capa estable se calculan 3 tipos de plumas: *directa*, *indirecta* y *penetrada*.



Cálculo de dispersión

Pluma **directa**:⁵

$$\varphi_z = \frac{\lambda_1 f_p}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z1}} \exp\left(-\frac{(z - z_{d1})^2}{2\sigma_{z1}^2}\right) + \frac{\lambda_2 f_p}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z2}} \exp\left(-\frac{(z - z_{d2})^2}{2\sigma_{z2}^2}\right)$$

Pluma **indirecta**:

$$\varphi_z = \frac{\lambda_1 f_p}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z1}} \exp\left(-\frac{(z - z_{r1} - 2z_i)^2}{2\sigma_{z1}^2}\right) + \frac{\lambda_2 f_p}{\sqrt{2\pi}\sigma_{z2}} \exp\left(-\frac{(z - z_{r2} - 2z_i)^2}{2\sigma_{z2}^2}\right)$$

Pluma **penetrada**:

$$\varphi_z = \frac{1 - f_p}{\sqrt{2\pi}\sigma_{zp}} \exp\left(-\frac{(z - h_{ep})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right)$$

⁵ f_p : es la fracción que se mantiene atrapada en la CBL.

Estimación de coeficientes de dispersión

Coefficientes de dispersión

La mezcla puede ser inducida por: **turbulencia del ambiente**, **flotación** ó **edificios**.

La forma general de cálculo es:

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{y,0}^2 + 0.08(\Delta z)^2} \quad \sigma_z = \sqrt{\sigma_{z,0}^2 + 0.08(\Delta z)^2}$$

donde: $\sigma_{y,0}$ representa la dispersión ambiente, sin tener en cuenta la flotación.

En el caso de $\sigma_{y,0}$ es independiente de la estabilidad atmosférica:

$$\sigma_{y,0} = \frac{\sigma_v X}{\tilde{u} [1 + 78z_{PG}\tilde{\sigma}_v X / (z_{max} \tilde{u} z_i)]^{0.3}}$$

Para el caso de $\sigma_{z,0}$ la forma de calculo depende de la estabilidad.

$$\sigma_{z,0} = \left(1 \frac{z}{z_i}\right) \sigma_{z,g} + \frac{z}{z_i} \sigma_{z,e}$$