

# NTP 475: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales instantáneas



Modèles de dispersion de gaz et vapeurs dans l'atmosphère: Sources ponctuelles instantanées  
Dispersion models of gases and vapours in the atmosphere: Instantaneous point sources

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

## Redactores:

Josep M. Cuscó Vidal  
Ingeniero T. Químico

Emilio Turmo Sierra  
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

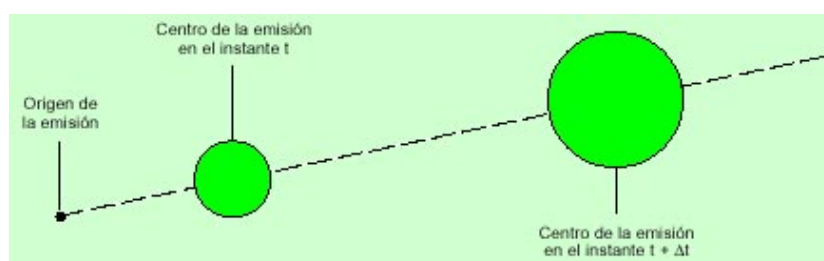
## Introducción

En el análisis de la estimación de las consecuencias de las emisiones accidentales a la atmósfera de contaminantes procedentes de actividades industriales, un aspecto clave es su dispersión en el medio ambiente (aire). En la NTP-329 se pretendía ilustrar la aplicación del modelo de dispersión de PASQUILL-GIFFORD para estimar las concentraciones ambientales de contaminantes producidos por una fuente puntual continua de gases neutros.

En este documento se va a tratar la emisión instantánea. El primer paso para el cálculo de la dispersión es establecer las condiciones de la fuga del producto, especialmente su duración en el tiempo. Según el tiempo de fuga del producto las emisiones se clasifican en:

- **Continuas:** Cuando el tiempo de emisión es mayor que el tiempo necesario para que la nube llegue a un determinado punto.
- **Instantáneas.** Cuando el tiempo necesario para que la nube llegue a un punto determinado es mayor que el tiempo de emisión del producto.

La emisión instantánea, llamada también, "puff" o soplo, forma una nube que se va dispersando con el tiempo. Gráficamente puede asimilarse a una nube casi esférica que se dispersa trasladando su centro de emisión en la dirección del viento. Ver Fig. 1.



**Fig. 1. Representación gráfica de la evolución de una nube de gas ("puff") proveniente de una fuente instantánea**

A efectos prácticos la división en emisión continua o discontinua es artificial y subjetiva, porque la mayoría de emisiones son un estado intermedio, dado que el tiempo de fuga es finito, asumiendo un estado estacionario durante un cierto tiempo y dispersándose finalmente.

La elección entre los métodos de cálculo para una emisión instantánea o continua puede establecerse de la siguiente forma. Si la emisión dura 100 segundos y se establece un estado estacionario de forma rápida, en las cercanías de la fuente de emisión, p.e. a unos 30 metros, se trata en este caso como continua. Para la misma emisión, si no se establece un estado estacionario hasta una distancia muy superior, p.e. de 10 kilómetros, la duración de la emisión se convierte en despreciable en relación al tiempo de paso de

la nube, de forma que puede considerarse como instantánea.

Un criterio empleado para decidir si la fuga puede ser considerada continua o instantánea se muestra a continuación:

Tipo de fuga	Valor
Instantánea	$x > 1,8 \cdot u_w \cdot t_e$
Continua	$x < 1,8 \cdot u_w \cdot t_e$

donde,

$x$  = distancia de la coordenada en la dirección del viento (m)

$u_w$  = velocidad del viento (m/s)

$t_e$  = duración de la emisión (s)

Para una emisión instantánea los cálculos se establecen de la misma forma que para una emisión continua, es decir, asumiendo que la nube tiene una distribución gaussiana en las direcciones de los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Las mismas limitaciones que se expusieron para las emisiones continuas son válidas para el modelo gaussiano aplicado a fuentes instantáneas, excepto el concepto tiempo promedio (o medio) que no debe aplicarse a una emisión instantánea.

## Concentración debida a una fuente instantánea

En el caso de una fuga instantánea, la concentración en un punto dependerá sólo de sus coordenadas de posición ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) y del tiempo  $t$ , transcurrido desde la fuga.

Empleando el modelo gaussiano, la concentración en el punto  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , en el tiempo  $t$ , después del escape del producto, viene dado por la siguiente expresión:

$$C(x, y, z, t) = \frac{M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot A \cdot B \cdot C$$

$$A = e^{-\frac{(x-u_w t)^2}{2\sigma_x^2}}$$

$$B = e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}$$

$$C = e^{-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}}$$

siendo  $C$  = concentración ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$M$  = masa de la emisión (kg)

$h$  = altura efectiva de la fuente de emisión (m). ( $h = 0$  para una emisión a ras de suelo)

## Coeficientes de dispersión

Los coeficientes de dispersión ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ ) son las desviaciones tipo en los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Las fórmulas generales para el cálculo de los coeficientes de dispersión ajustados para distancias entre 100 m y 10 km en emisiones continuas tienen la expresión siguiente:

$$\sigma_y = a \cdot x^b$$

$$\sigma_z = c \cdot x^d$$

Para distancias inferiores a 100 m se puede interpolar linealmente entre 0 y el valor de los coeficientes de dispersión  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  a 100 m. En el caso de fugas instantáneas siguen las ecuaciones siguientes:

$$\sigma_x = 0,13 \cdot x$$

$$\sigma_y = 0,5 \cdot \sigma_{yc}$$

$$\sigma_z = \sigma_{zc}$$

donde los significados son:

$\sigma_x$  = desviación tipo en el eje x, en metros

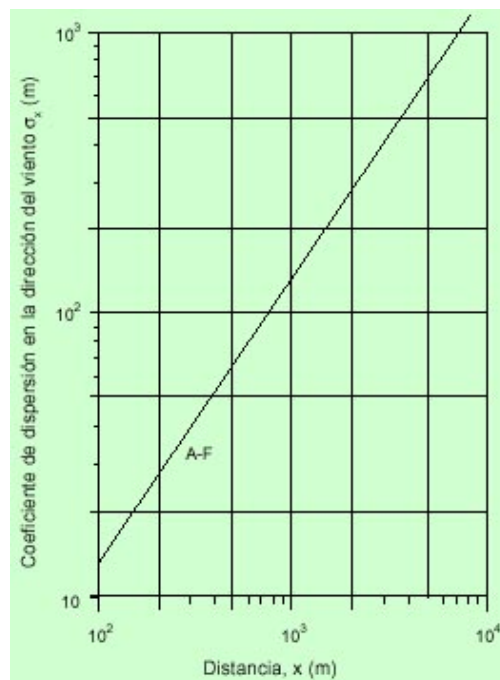
$\sigma_y$  = desviación tipo en el eje y, en metros

$\sigma_z$  = desviación tipo en el eje z, en metros

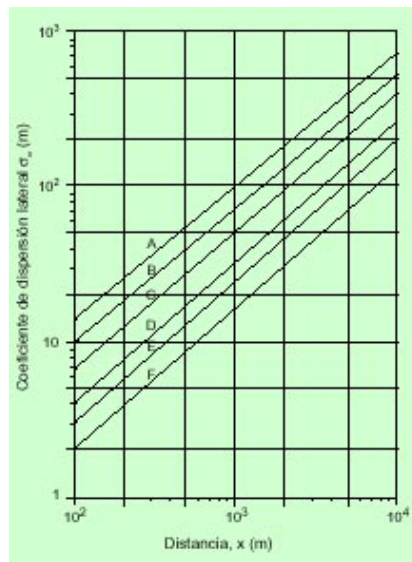
$\sigma_{yc}$  = desviación tipo en el eje y, calculada para fugas continuas, en metros

$\sigma_{zc}$  = desviación tipo en el eje z calculada para fugas continuas, en metros

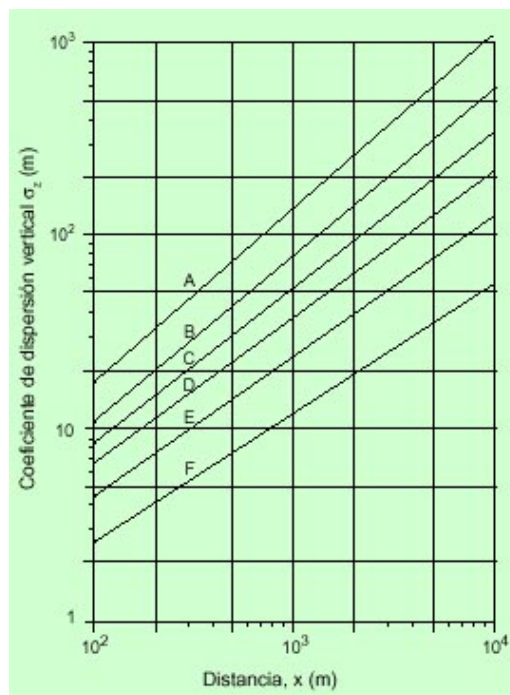
Estas ecuaciones están representadas de forma gráfica, para las distintas categorías de estabilidad atmosférica, en las figuras 2, 3 y 4.



**Fig. 2 . Coeficiente de dispersión en la dirección del viento  $\sigma_x$  , aplicable sólo a emisiones a nivel del suelo. Válida para todas las categorías de estabilidad atmosférica.**



**Fig. 3. Coeficiente de dispersión lateral  $\sigma_y$ , según distancia**



**Fig. 4. Coeficiente de dispersión vertical  $\sigma_z$ , según distancia.**

**Estos valores son de aplicación para una emisión a nivel del suelo y para una rugosidad  $z_0 = 0,1$  m**

### Correcciones según la rugosidad del terreno

Existen métodos en bibliografía especializada (ref. 2) para tener en cuenta la rugosidad del terreno y su efecto en particular sobre el eje vertical, z.

La rugosidad incluye la vegetación, los cultivos y los edificios. En la tabla 1 se dan los valores de los coeficientes a, b, c y d, para el cálculo de las desviaciones tipo  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ , en el caso de una rugosidad  $z_0$  de 0,1 metros para la emisión continua, los cuales se pueden utilizar como valores  $\sigma_{yc}$  y  $\sigma_{zc}$  en las fórmulas del apartado anterior 3 para las fugas instantáneas. Para otras rugosidades debe acudir a la bibliografía ya mencionada (ref. 2). En la tabla 2 se muestran algunos de los valores representativos para  $z_0$ .

**Tabla 1. Coeficientes para el cálculo de  $\sigma_y$  (valores promedio en un intervalo de 10 minutos) y  $\sigma_z$  (para una altura de la fuente de emisión  $< 20$  m y una rugosidad del terreno  $z_0 = 0,1$  m) según la categoría de estabilidad atmosférica**

CLASE DE ESTABILIDAD	a	b	c	d
A: Muy inestable	0,527	0,865	0,28	0,90
B: Inestable	0,371	0,866	0,23	0,85
C: Ligeramente inestable	0,209	0,897	0,22	0,80
D: Neutra	0,128	0,905	0,20	0,76
E: Estable	0,098	0,902	0,15	0,73
F: Muy inestable	0,065	0,902	0,12	0,67

**Tabla 2. Valores de la rugosidad  $z_0$  para diversos tipos de zonas**

TERRENO LLANO CON POCOS ÁRBOLES .....	0,03 m
TERRENO AGRÍCOLA ..... (árboles abundantes, tierra arable...)	0,10 m
TERRENO CULTIVADO ..... (cultivos, vegetación, casas aisladas...)	0,30 m
ÁREA RESIDENCIAL ..... (construcción densa de poca altura...)	1,0 m
ÁREA URBANA ..... (edificios altos e industriales con estructuras altas...)	3,0 m

Los valores de  $\sigma_z$  que se obtienen de los coeficientes c y d, dados en la tabla 1 pueden usarse como tales para un valor de  $z_0 = 0,1$  m. Para otros valores es necesario introducir una corrección de acuerdo con:

$$\sigma_z = c \cdot x^d (10 \cdot z_0)^m$$

siendo  $m = 0,53 \cdot x^{-0,22}$

Los valores de  $\sigma_y$  no están afectados por la rugosidad del terreno.

Los valores de estos coeficientes de dispersión son fruto de determinaciones, en parte teóricas y en parte experimentales. A la vista de las limitaciones de los datos existentes se considera aceptable tomar las que aquí se han indicado.

De la misma manera que se vio para las fugas continuas, para tener una idea del orden de magnitud del alcance máximo de una fuga instantánea, es suficiente calcular la concentración a una distancia x del punto de fuga en la dirección del viento ( $y = 0$ ), a nivel del suelo ( $z = 0$ ), con  $t = x / u_w$ , es decir, cuando el centro de la nube llega al observador.

A partir de la fórmula general, sustituyendo los valores de los coeficientes de dispersión por los correspondientes valores a, b, c, y d se obtiene:

$$C(x, 0, 0, x / U_w) = \frac{M}{[(2\pi)^{3/2} \cdot 0,13 \cdot 0,5 \cdot a \cdot c \cdot x^{(1+b+d)}]}$$

Otro dato de interés es la distancia límite que corresponde a una concentración peligrosa para la salud, sea por ejemplo el IPVS (Índice inmediatamente peligroso para la vida o la salud, véase NTP-292), sea la concentración letal (LC 50), o la concentración con riesgo de explosión (L.I.E.).

Dado que los valores de concentraciones peligrosas y de límites de explosividad son valores frontera sujetos a ciertas desviaciones alrededor de los mismos, deberían adoptarse factores de seguridad para garantizar las medidas de prevención a adoptar.

Mediante procesamiento informático se obtendría la representación gráfica de la distribución de concentraciones en el tiempo y a diferentes distancias. Ello facilitaría el estudio simulado en situaciones accidentales para verificar la idoneidad de las medidas de seguridad y el nivel de efectividad del plan de emergencia.

## Resolución de un caso práctico

Dada una fuente de emisión instantánea de 1 000 kg de metano con una densidad de  $0,665 \text{ kg/m}^3$ , siendo las condiciones meteorológicas neutras (clase D), la velocidad del viento 5 m/s y la rugosidad del terreno de 0,1 m, calcular la concentración a 500 m

de distancia a sotavento, a nivel del suelo, a los 100 segundos de la emisión. La elevación de la nube resultante en función de su densidad, es despreciable en este caso.

**Solución:**

$$C(500, 0, 0, 100) = 6,048 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

(El cálculo de  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  se ha obtenido mediante los gráficos de las figuras 3 y 4).

Transformando esta concentración a ppm, a 1 atm y 20 °C, según la expresión indicada en la NTP-329:

$$C_{\text{ppm}} = C_{\text{kg/m}^3} (R T_a / P M_{\text{CH}_4}) \cdot 10^6 = 9081 \text{ ppm de CH}_4$$

Estas 9081 ppm son equivalentes a una concentración, expresada en tanto por ciento en volumen del 0,9 %.

El límite inferior de explosividad del metano es del 5 %; por lo tanto la concentración calculada está en este caso por debajo del citado límite.

## Bibliografía

(1) LEES, F.P.

**Loss Prevention in the Process Industries**

Londres, Butterworth & Co., Ltd., 1980, 2 Vols., 1316 págs.

(2) TNO

**Methods for the calculation of physical effects**, 2<sup>nd</sup> Edition

Voorburg, The Netherlands Organization of Applied Scientific Research (TNO), 1992.

(3) CASAL FÁBREGA, J. et al.

**Anàlisi del risc en instal·lacions industrials**

Barcelona, Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, 1996

(4) SANTAMARÍA, J.M. y BRAÑA, P.A.

**Análisis y reducción de riesgos en la industria química**

Madrid, Editorial MAPFRE, 1994