
**DIFUSION DE LOS PRODUCTOS
DE COMBUSTION DEL PVC
(POLICLORURO DE VINILO)
EN LA ATMOSFERA
SOBRE LA CIUDAD DE ROSARIO**

**CONTAMINACIÓN, METEOROLOGÍA Y
ESTABILIDAD TÉRMICA**

**ANEXO
1**

CONTAMINACION AMBIENTAL: UN PROBLEMA DE LOS SISTEMAS SOCIALES.

Enfoque del problema:

El problema del control de la contaminación del aire es diferente de otros problemas sociales, como la pobreza, la educación, los crímenes, etc.; donde los eventos técnicos ingresan sólo en forma periférica en su frecuencia y medios de control.

Por el contrario, la solución a los problemas ambientales yace largamente en el dominio técnico, pues es necesario desarrollar herramientas de cálculo para poder determinar niveles de contaminación y/o especificaciones mínimas que se puedan utilizar como referencia al establecer normas de regulación y de control.

La contaminación del aire se ha vuelto más que un problema urbano; su alcance es regional, nacional y aún global. Su control en cualquier país es un problema nacional, generalmente con ramificaciones internacionales. Por lo tanto, cualquier medio efectivo para controlarla, debe ser un sistema a gran escala, y su síntesis y diseño debería seguir las disciplinas científicas y técnicas de los sistemas que se utilizan en ingeniería.

De lo expresado anteriormente, surge la necesidad de definir un sistema. Para esto podemos establecer siete criterios para definir un sistema de ingeniería:

1. *Un sistema es producto de la actividad humana*, por consiguiente involucra equipos o hardware. Con seguridad, la mayor proporción de contaminación del aire urbano es producto del hombre, así como aquellos elementos con los cuales se trata de controlarla.
2. *Un sistema posee integridad*, esto significa que todas las componentes contribuyen a un propósito común, la producción de un conjunto óptimo de salidas (outputs) a partir de las entradas (inputs) especificadas.
3. *Un sistema es grande*, en partes, funciones desempeñadas y costos.
4. *Un sistema es complejo*, en el sentido que una variable afectará a muchas otras, en raras ocasiones en forma lineal.
5. *Un sistema es semiautomático*, dado que involucra las acciones y decisiones de hombres y de computadoras.
6. *Un sistema es estocástico*, con esto se quiere significar que las entradas son aleatorias y que los resultados también son procesos aleatorios, los cuales, juzgados solamente a partir del estado presente, no pueden determinarse con exactitud en el futuro.
7. *Un sistema es competitivo*, esto es cierto para el control de la contaminación atmosférica desde diferentes ópticas. En un sentido, es una competencia con la naturaleza (combinaciones de elementos naturales y hechos por el hombre que se combinan de manera estocástica para crear combinaciones perjudiciales), siendo la función de los sistemas de control aconsejar la mejor estrategia para minimizar el daño y el costo.

Una gran parte del equipamiento utilizado por la industria durante muchos años para el abatimiento de los gases contaminantes, es idéntico al utilizado para la recolección de polvo y de vapores, para la limpieza y enfriamiento de gases y para otras tareas. Al respecto hay poco que agregar, dado que la descripción de este equipamiento ha sido efectuada con mucho detalle en la bibliografía disponible. En el otro extremo, el uso de modelos matemáticos y de computadoras para predecir los niveles de contaminación ambiental, conforma una práctica en rápido ascenso.

Finalmente, intentaremos mostrar, que el control de la contaminación del aire que reúne mayores beneficios sociales, será aquel que reúna los cuatro principios del diseño de los sistemas:

1. *El sistema maximizará el valor esperado.* Una vez que se han establecido los objetivos del sistema con respecto a la salud, la ecología, la estética y los efectos de largo alcance, y que se ha determinado la probabilidad de ocurrencia de niveles de contaminación por encima de aquellos que producen daños a la salud de las personas y deterioro a la propiedad, deberán estimarse y desecharse los costos de las diversas estrategias de control y abatimiento, hasta que pueda definirse el sistema que ofrezca más por menos. En un sistema multivariable de orden superior como el que se considera, resulta un ejercicio de la máxima dificultad y que requerirá de un estudio y de un ajuste continuo.
2. *El diseño del sistema no será arreglado a favor de eventos de baja probabilidad de ocurrencia.* Esto significa que el sistema más económico es aquel que se diseña para operar diariamente dentro del rango estadístico cierto de los eventos de entrada, y no sobre la posibilidad más incierta.
3. *La información y la autoridad del sistema deberán estar centralizada.* Ante una situación en la que puedan ocurrir eventos que originen elevados niveles de contaminación del aire y exista el peligro de perjuicios serios a la salud de las personas y a la propiedad, no es suficiente confiar en una autoridad local o fragmentada.
4. *No serán implementadas las soluciones subóptimas.* Este principio establece que una solución aproximada será más perjudicial que beneficiosa para la situación global que se trata de combatir.

CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA.

1. Perspectiva Histórica.

Con la expresión *contaminación del aire* se quiere indicar cambios significativos en la composición de la atmósfera como para alterar el balance ecológico de las formas de vida terrestres.

La vida, se inició bajo las condiciones primitivas de la atmósfera, esto es, en océanos calientes y alcalinos debido al amoníaco disuelto y a la radiación ultravioleta proveniente del sol.

Desde el origen de la vida hasta la primera evidencia de fotosíntesis (algas fósiles y fragmentos moleculares de clorofila en sedimentos de hace $2,7 \times 10^3$ millones de años de antigüedad), transcurrió un lapso de 1 a $1,5 \times 10^3$ millones de años. Otros $1,5 \times 10^3$ millones de años transcurrieron antes de la aparición de una atmósfera de oxígeno sobre la tierra, semejante al aire de la actualidad.

Para las primeras formas de vida, el O_2 podría haber constituido un gas venenoso. Pero lo más importante es que la vida se adaptó, a pesar de la alteración drástica de la atmósfera, debido exclusivamente a la inimaginable extensión de tiempo, medida en miles de millones de años, que acompañó el cambio.

Lo que le ocurre hoy a nuestra atmósfera urbana debido a las actividades tecnológicas de nuestra especie no es relevante en comparación con las transformaciones geológicas de la antigüedad, pero, dado que la escala de tiempo corriente es minúscula, la velocidad de transformación resulta ser enorme. La combustión de combustibles fósiles, carbón y petróleo es la principal fuente de cambios presentes en la atmósfera (carbón a partir del siglo XIII y petróleo del siglo XX).

El producto básico de la combustión de estas sustancias, el bióxido de carbono (CO_2), se incrementó en más de un 10% desde 1890 y está creciendo continuamente a

una tasa del 0,27% anual. Resulta dudoso que le hombre pueda adaptarse a cambios a esta velocidad y magnitud mediante procesos evolutivos. Por consiguiente, el problema de la contaminación del aire, como una amenaza a la salud y la supervivencia de la humanidad, asoma hoy por primera vez en nuestra existencia debido al acelerado crecimiento tecnológico.

2. Fuentes contaminantes de la atmósfera.

La contaminación atmosférica que acompaña a la sociedad industrial proviene de las descargas o emisiones de las plantas industriales, de generación de energía y de tratamientos de residuos domiciliarios y/o industriales; de equipos de calefacción, así como de vehículos de transporte en general. Estos contaminantes se emiten en forma de:

A) Humos, olores y gases.

B) Partículas que contienen gases, como por ejemplo: óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO).

Los contaminantes son arrastrados por el viento al pasar por las zonas o regiones de emisión y dispersados en la atmósfera o depositados en el suelo. La velocidad del viento afecta a los niveles de concentración de contaminantes a nivel del suelo. La emisión de gases hacia la atmósfera a gran altura a través de chimeneas (stacks) favorece la dispersión de los contaminantes sobre áreas más grandes, reduciendo la concentración a nivel del suelo. Este proceso depende de diversos factores, entre ellos:

- Condiciones atmosféricas.
- Altura de la chimenea relativa al tamaño y a la posición de los obstáculos (topografía natural o edificios).

Por consiguiente, se trata de estimar los valores de concentración de los contaminantes *viento debajo de* las fuentes de emisión. Una estrategia de procedimientos para la estimación de concentraciones de contaminantes implica:

- Descarte de iteraciones complejas entre los factores ya mencionados.
- Reunión de observaciones de campo y ensayo de modelos a escala que desprecien complejidades.

Los modelos meteorológicos y topográficos simples introducen ciertas hipótesis simplificadoras que suministran respuestas preliminares aceptables de diseño.

3. Meteorología.

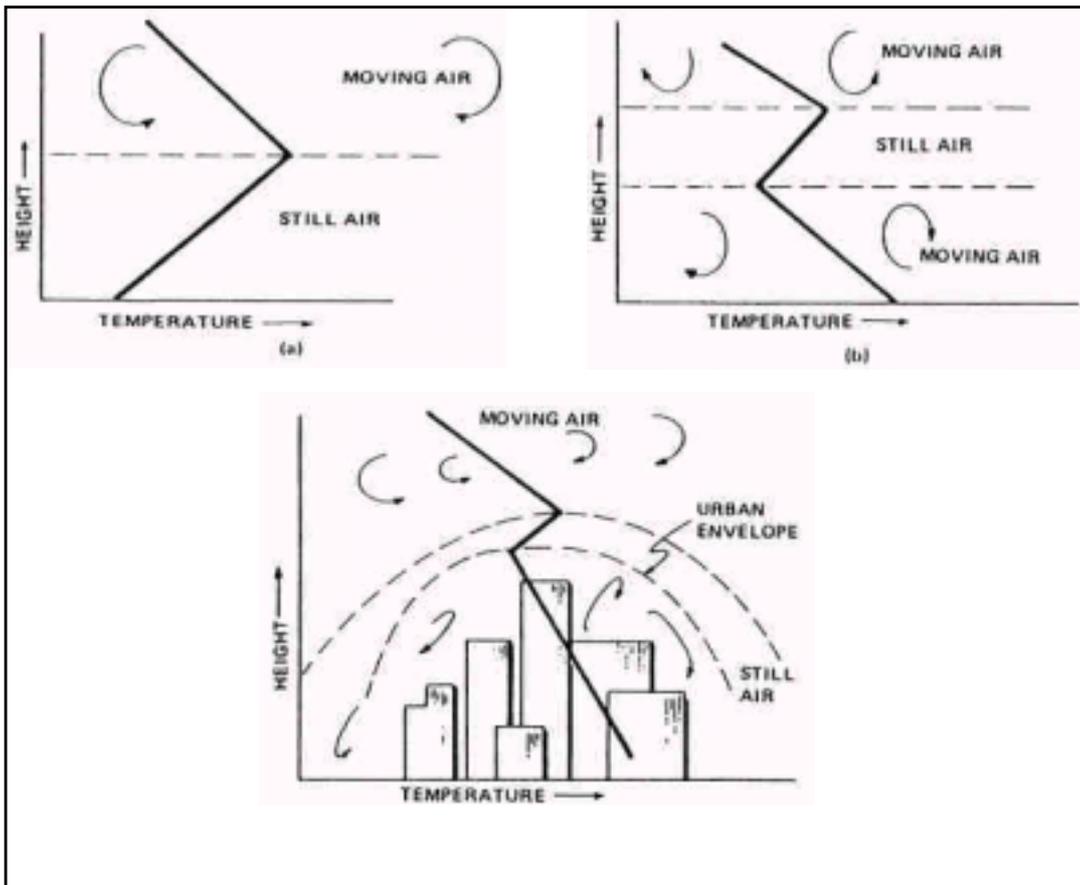
La dispersión es un proceso físico relacionado con el complejo comportamiento del flujo de la máquina térmica atmosférica. Los movimientos atmosféricos se generan debido a:

A) Gradientes de presión.

B) Fuerza de Coriolis.

C) Fuerza centrífuga.

Estas fuerzas provocan la circulación de las masas de aire a nivel planetario, lo que produce la dispersión de los contaminantes por convección forzada y por convección natural (generada por pequeños gradientes locales de temperatura). En el proceso de dispersión de contaminantes a la atmósfera adquiere particular importancia la convección natural. En efecto, los ciclos de calentamiento-enfriamiento asociados con el sol afectan a la capa de aire próxima al suelo dentro de la cual se emiten y se dispersan la mayoría de los contaminantes gaseosos (ver Figura I).



3.1 Determinación del gradiente de temperatura por desplazamiento adiabático vertical de las masas de aire.

La ecuación de movimiento para las masas de aire en flujo lento vertical (cuasiequilibrio, se desprecian las fuerzas inerciales y las no inerciales) es:

$$-\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g = 0 \quad (1)$$

donde:

- $\partial p / \partial z$ = Gradiente vertical de presión.
- ρ = Densidad del aire.
- g = Aceleración de la gravedad.

En un proceso adiabático la relación que vincula a la temperatura con la presión es:

$$T = C * p^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (2)$$

con $\gamma = C_p / C_v = \text{constante}$.

Luego, trabajando dicha ecuación se llega a:

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{g}{R} \frac{\gamma - 1}{\gamma} \quad (3)$$

Para el aire: $\gamma = 1,41$; $R = 159,6 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2}$; y $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$. Luego,

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{9,8}{159,6} \frac{1,41 - 1}{1,41} \cong -1,8 \times 10^{-2} \frac{^\circ\text{F}}{\text{m}}$$

Además, dado que $1^{\circ}\text{F} = 0,55^{\circ}\text{C}$, entonces:

$$\left. \frac{dT}{dz} \right|_{ad} = -1,8 \frac{^{\circ}\text{F}}{100\text{ m}} = -1 \frac{^{\circ}\text{C}}{100\text{ m}}$$

Luego, identificamos los siguientes casos:

- $\left. \frac{dT}{dz} \right| < \left. \frac{dT}{dz} \right|_{ad} \Rightarrow$ atmósfera inestable.
- $\left. \frac{dT}{dz} \right| = 0 \Rightarrow$ atmósfera neutra.
- $\left. \frac{dT}{dz} \right| > \left. \frac{dT}{dz} \right|_{ad} \Rightarrow$ atmósfera estable.

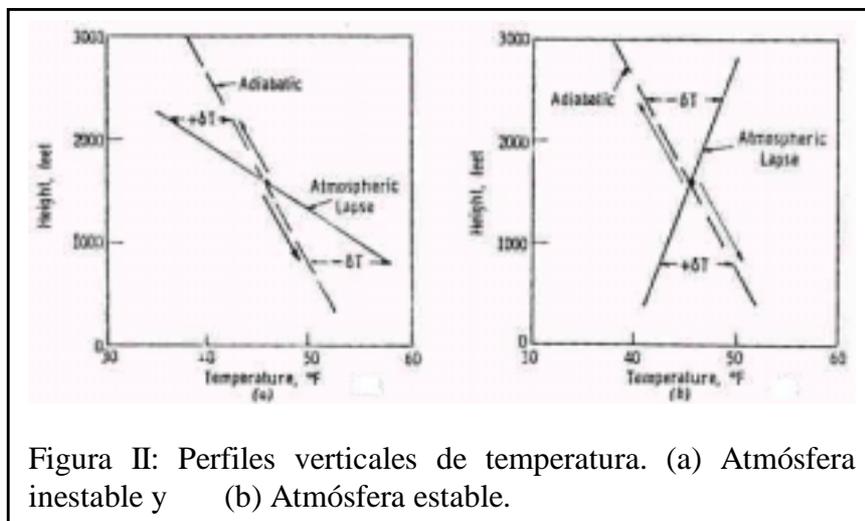


Figura II: Perfiles verticales de temperatura. (a) Atmósfera inestable y (b) Atmósfera estable.

El flujo de las masas de aire a través de la superficie de la Tierra es esencialmente turbulento. Los gradientes de temperatura acentúan la turbulencia vertical si el perfil de T es inestable y disminuyen la turbulencia vertical si el perfil de T es estable (ver Figura II).

4. Dispersión de Contaminantes en la Atmósfera.

4.1 Descripción general.

La dispersión de los contaminantes en la atmósfera es producida por la difusión. Identificamos los siguientes mecanismos de difusión:

- Difusión molecular (en flujo laminar).
- Difusión turbulenta (o de torbellino).

En atmósferas neutrales e inestables la dispersión se produce por transporte turbulento, mientras que en condiciones altamente estables predomina el proceso de difusión laminar.

4.1.1 Ecuación de difusión de un soluto a través de un fluido.

$$\frac{DC}{Dt} = \nabla \cdot (k \nabla C) \tag{4}$$

donde: $\frac{DC}{Dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + \underline{u} \cdot \nabla C$, representa a la derivada parcial. Siendo:

- C = Concentración del contaminante.
- t = Tiempo.
- k = Coeficiente de difusión.

4.1.2 Fuente puntual de emisión continua. (ver Figura III)

Hipótesis:

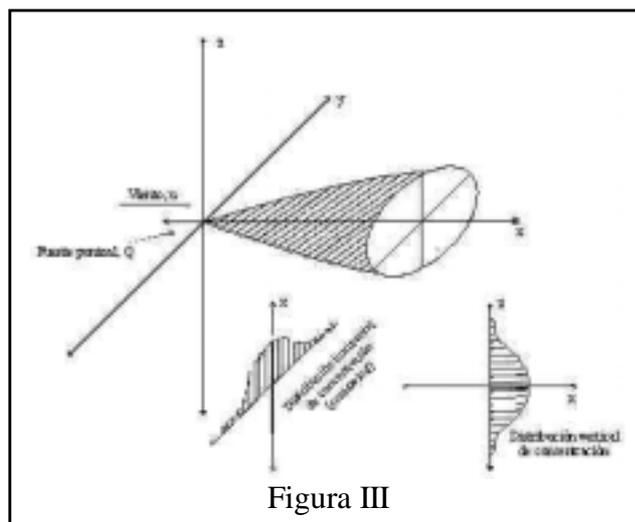
- El contaminante es liberado a la atmósfera en forma continua desde una fuente puntual a Q (grs./seg.) (caudal másico).
- Viento estacionario de velocidad uniforme u .
- La pluma del contaminante se expande *viento abajo* de la fuente por difusión. Para facilitar los cálculos se adopta un sistema de coordenadas con el origen ubicado en el punto de emisión y el eje x en la dirección del viento. Luego, $\underline{u} = u\hat{i}$ con $u \neq u(x, y, z, t)$. Por consiguiente la derivada material se reduce a:

$$\frac{D}{Dt} \cong u \frac{\partial}{\partial x}$$

- $k \neq k(x, y, z, t)$

La ecuación (4) toma la forma:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = k \nabla^2 C \tag{5}$$



Solución de la ecuación (5):

$$C = \frac{Q}{4\pi kx} \exp\left[-\frac{u}{2k}(r-x)\right] \tag{6}$$

donde $r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$. Si la concentración como es usual, se evalúa para $x^2 \gg y^2 + z^2$, entonces:

$$C = \frac{Q}{4\pi kx} \exp\left[-\frac{u}{4kx}(y^2 + z^2)\right] \tag{7}$$

4.1.3 Fuente puntual de emisión instantánea.

Hipótesis:

Q' (en gr) se libera en $x = y = z = 0$:

$$C = \frac{Q}{8(\pi k_x)^{3/2}} \exp\left[-\frac{u}{4kt}(x^2 + y^2 + z^2)\right] \quad (8)$$

4.1.4 Fuente lineal de emisión continua (crosswind).

Q'' (en $\frac{\text{gr}}{\text{m seg}}$) se libera uniformemente a lo largo de una línea ($x = 0 \cap z = 0$):

$$C = \frac{Q}{(2\pi k_x)^{1/2}} \exp\left[-\frac{u z^2}{4k_x x}\right] \quad (9)$$

Si además se considera para los casos 4.1.2, 4.1.3 y 4.1.4 un coeficiente de difusión anisotrópico:

$$\begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix}$$

entonces las soluciones correspondientes a las ecuaciones (7), (8) y (9) son:

$$\frac{C}{Q} \approx \frac{1}{4\pi x (k_y k_z)^{1/2}} \exp\left[-\frac{u}{4x} \left(\frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z}\right)\right] \quad (10)$$

$$\frac{C}{Q'} = \frac{1}{8(\pi^3 t^3 k_x k_y k_z)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{4t} \left(\frac{x^2}{k_x} + \frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z}\right)\right] \quad (11)$$

$$\frac{C}{Q''} \approx \frac{1}{(2\pi x u k_z)^{1/2}} \exp\left(-\frac{u z^2}{4k_z x}\right) \quad (12)$$

Las ecuaciones suponen que:

$$k_x \neq k_x(x, y, z, t)$$

$$k_y \neq k_y(x, y, z, t)$$

$$k_z \neq k_z(x, y, z, t)$$

$$u \neq u(x, y, z, t)$$

Es bien sabido que la fricción afecta el flujo próximo a la superficie (capa límite) de manera que $u = 0$ sobre la superficie de la Tierra, generándose en consecuencia un flujo laminar o bien un flujo turbulento.

4.1.5 Reflexión del contaminante en el suelo.

Hipótesis:

a) Plano de la Tierra: $z = 0$.

b) Contaminante: dispersado en el semiespacio $z > 0$.

Se obtienen, en consecuencia, valores duplicados de concentraciones,

$$\frac{C u}{Q} = \frac{1}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \quad (13)$$

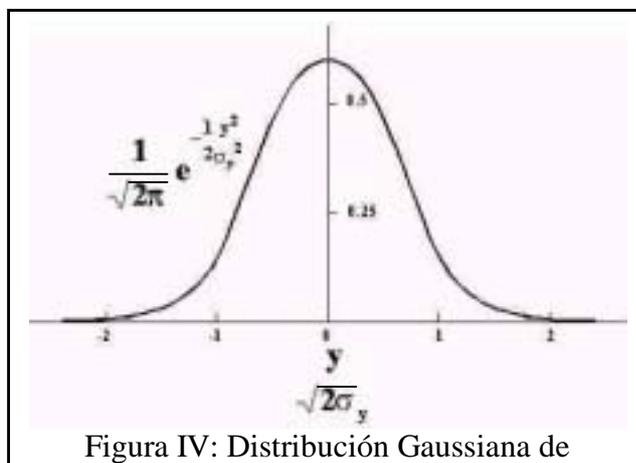
donde:

$$\sigma_y^2 = \frac{2k_y x}{u} \quad (14a)$$

$$\sigma_z^2 = \frac{2k_z x}{u} \quad (14b)$$

Las cantidades σ_y y σ_z reciben el nombre de coeficientes de dispersión.

Observación: $\frac{Cu}{2Q}$ es la Función de Distribución de Gauss en dos variables y y z alrededor del origen, con desvíos estándar σ_y y σ_z respectivamente. Como se muestra en la Figura (IV), esta función determina la conocida curva en forma de campana para la variación de la concentración en las direcciones y y z para cualquier distancia x viento abajo de la fuente emisora.



4.1.6 Conclusiones.

Un criterio para determinar si la fuente puntual emite en forma continua o instantánea es el siguiente:

$$\frac{X_r}{u \Delta t_{\text{emisión}}} < 1.8 \Rightarrow \text{emisión continua}$$

$$1.8 < \frac{X_r}{u \Delta t_{\text{emisión}}} < 18 \Rightarrow \text{emisión semicontinua}$$

$$\frac{X_r}{u \Delta t_{\text{emisión}}} > 18 \Rightarrow \text{emisión instantánea}$$

4.2 Extensión de las fórmulas Gaussianas a fuentes emisoras elevadas.

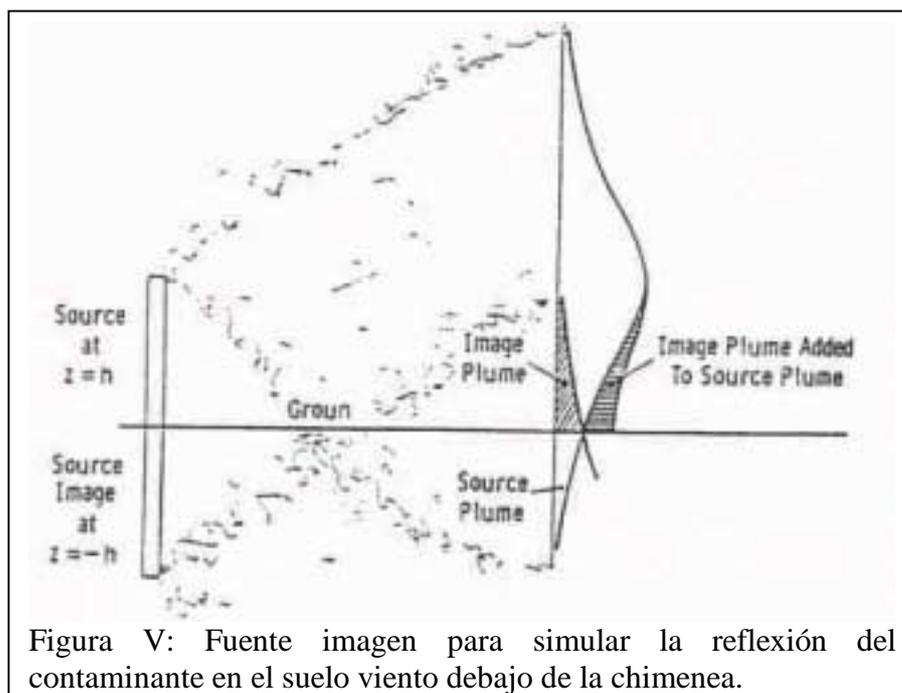
La mayoría de los contaminantes son emitidos por chimeneas cuyas salidas están ubicadas a una cierta altura sobre el nivel del suelo. En consecuencia, la ecuación (10) debe corregirse con la altura “h” de la chimenea, de forma tal que en este punto suministre la concentración máxima de contaminantes.

Hipótesis:

- a) Ubicación de la fuente (ver Figura V): $x = y = 0, z = h$.
- b) Emisión continua: Q (grs./seg.).

Por consiguiente, la concentración del contaminante emitido por la chimenea se expresa como:

$$\frac{Cu}{Q} = \frac{I}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-h)^2}{\sigma_z^2}\right]\right\} \quad (15)$$



4.3 Fuentes puntuales múltiples con dirección arbitraria del viento.

La concentración en el punto receptor debido a la emisión de un contaminante gaseoso por múltiples fuentes puntuales se obtiene aplicando el principio de superposición, esto es, sumando la contribución en el punto receptor de cada una de las fuentes puntuales (ya sea para emisión continua o instantánea). Este mismo principio se puede extender a fuentes emisoras lineales y superficiales, observando que éstas pueden dividirse o partitionarse en elementos discretos que pueden asimilarse a fuentes puntuales de emisión.

Calder ha señalado que el uso de las ecuaciones para fuentes puntuales múltiples implica homogeneidad horizontal de la topografía e isotropía con respecto a la dirección del viento. Homogeneidad horizontal significa que la solución para un determinado par emisor-receptor no está influenciada por un desplazamiento horizontal arbitrario. La isotropía implica que la concentración a una distancia determinada viento abajo es la misma cuando la dirección del viento cambia arbitrariamente, sin cambios en la intensidad del mismo u otras variables meteorológicas.

4.4 Confinamiento del contaminante dentro de la capa de mezclado.

Los contaminantes liberados en la superficie terrestre son dispersados a través de la capa de mezclado a una velocidad que depende de la intensidad de la actividad convectiva, sin embargo, están confinados por la inversión que hace de barrera impenetrable.

El modelo de pluma Gaussiana puede adaptarse a la limitación impuesta sobre el mezclado por la altura de la capa de mezclado, de acuerdo con alguno de los siguientes métodos:

A) Método de las imágenes.

A una altura $z = H$ por encima de la superficie terrestre se presenta una capa de inversión que refleja las emisiones gaseosas contaminantes hacia la capa turbulenta ubicada entre el suelo y dicha superficie reflectante.

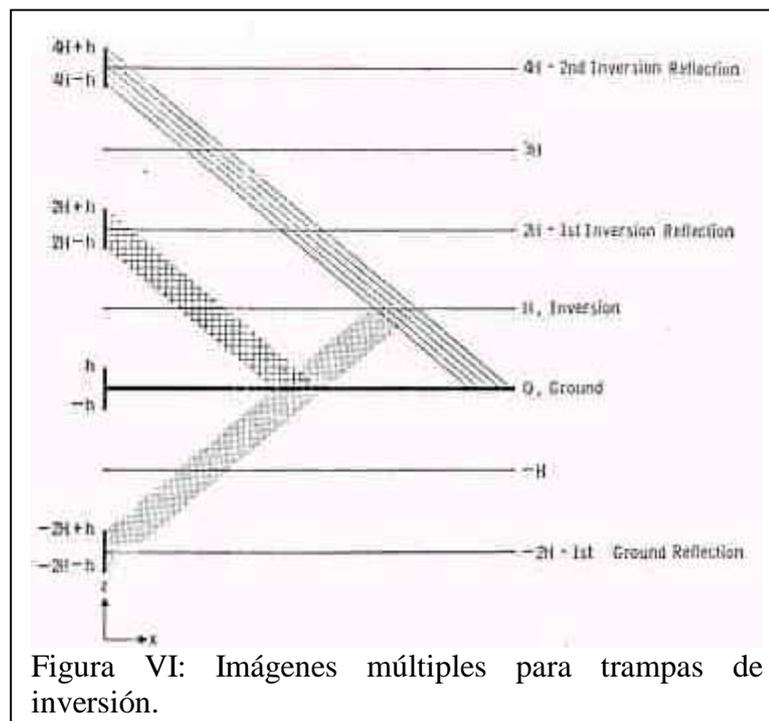


Figura VI: Imágenes múltiples para trampas de inversión.

La concentración del contaminante para $0 < z < H$ se obtiene sumando la contribución de todas las fuentes.

B) Método de Turner.

Un segundo método para calcular la influencia de la capa de inversión es el sugerido por Turner, en el cual se utiliza la ecuación para calcular la concentración a nivel del suelo de fuentes puntuales de emisión continua, para distancias $x < x_H$ viento abajo que están suficientemente próximas a las fuentes emisoras para considerarse libres de la influencia de la inversión. El valor de x_H se define como la distancia para la cual la concentración en $z = H$ es el 10% de la concentración en el centro de línea de la pluma. Esta estimación ignora la existencia de las fuentes virtuales así como la capa de inversión misma.

Para valores de $x > 2x_H$ se supone que el contaminante se mezcla perfectamente en la dirección vertical para valores de z tales que $0 < z < H$.

Para valores intermedios de x tales que $x_H < x < 2x_H$, Turner recomienda un método de interpolación entre los valores calculados, sobre gráfica logarítmica.

C) Método utilizado por Smith-Singer-Shieh.

De acuerdo con este método, el valor del coeficiente de dispersión vertical σ_z se elige igual al menor entre su valor obtenido de la gráfica y la altura de mezclado H (o una fracción de ella, tal como $H/1.25$ o $H/2$). Este método permite a una pequeña fracción de contaminante penetrar hacia arriba a través de la capa de inversión, mientras que la variación vertical de concentración dentro de la capa de mezclado es relativamente uniforme.

4.5 Dispersión de partículas.

El proceso de dispersión de partículas emitidas desde una chimenea difiere del de gases contaminantes contenidos en una pluma en los siguientes aspectos:

- 1) Las partículas tienden a asentarse en el suelo debido a la gravedad.

2) Cuando alcanzan la superficie de la Tierra, en general, no son reenviadas a la atmósfera por el viento.

5. Dispersión de Contaminantes.

Las estimaciones de dispersión de contaminantes de las chimeneas incluyen la consideración de muchos efectos: condiciones meteorológicas promedio y local, la elevación térmica y cantidad de movimiento de la pluma emitida desde la chimenea, la topografía y edificación cercana, y múltiples chimeneas cercanas unas a otras.

Los efectos de la meteorología a corto plazo dentro de un ciclo diurno, de la existencia de capas de inversión y de la transmisión térmica a gran escala, son los más relevantes cuando se estiman las concentraciones gaseosas de las emisiones corta duración, mientras que la meteorología a largo plazo (un mes o un año) es importante para la estimación de concentraciones de material particulado y polvos.

Los tipos de plumas que se pueden hallar son los siguientes (ver Figura VII):

La **pluma cónica** (coning plume) acontece cuando la pluma es dispersada por el viento en una atmósfera neutral, condición característica de la meteorología de la tarde.

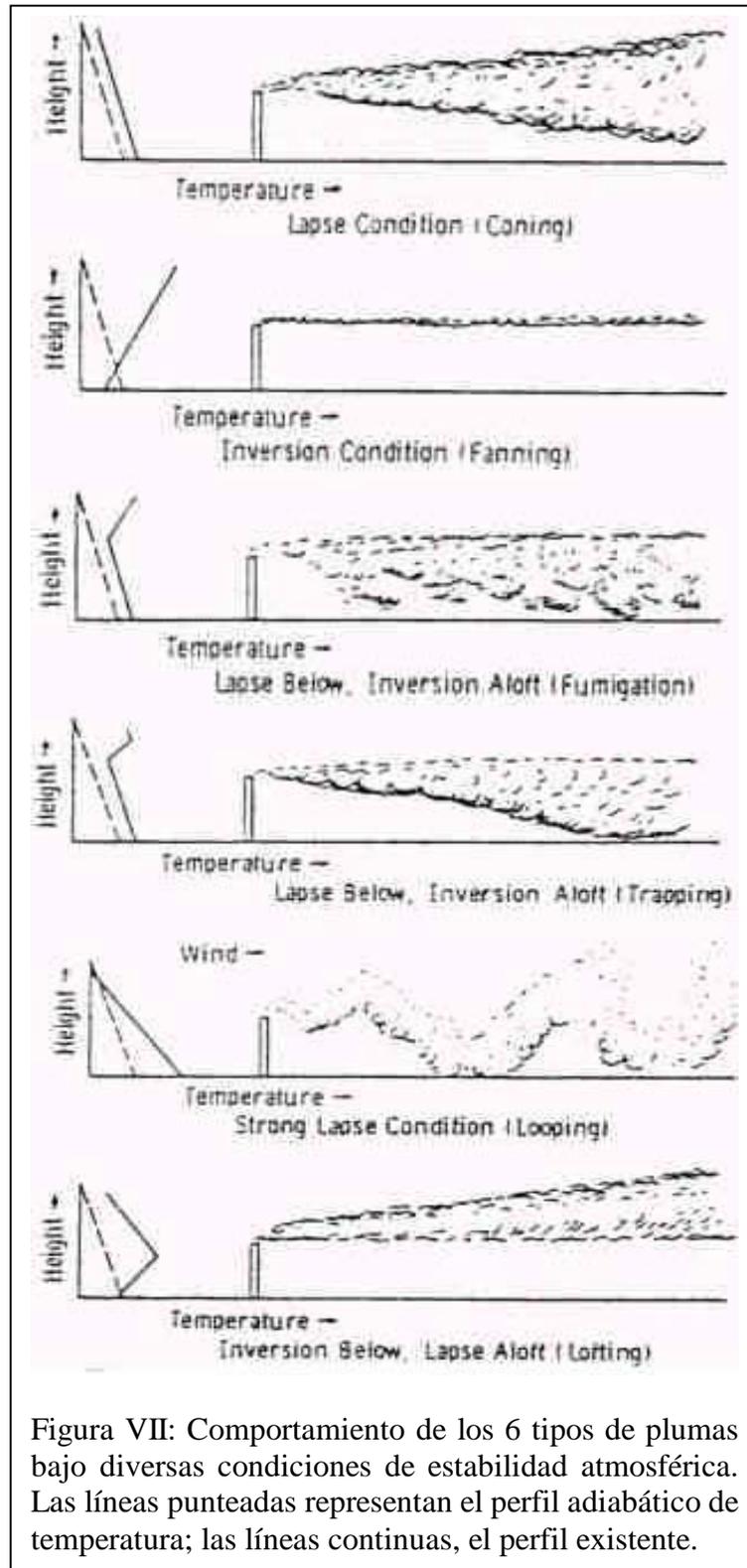
La **condición de ventilación** (fanning plume) acontece cuando la pluma se dispersa en la capa inversión atmosférica durante la caída del sol, la noche o temprano en la mañana.

La **condición de fumigación** (fumigating plume) acontece cuando se quiebra la inversión durante el día, esto es, cuando la capa turbulenta que se eleva del suelo calentado alcanza a la fanning plume emitida dentro de la capa de inversión la noche anterior y atrapada a una altura efectiva de chimenea en la capa de inversión y llevada viento abajo hasta el nivel del suelo. Se asume que el contaminante se dispersa uniformemente en la dirección vertical y con una distribución Gaussiana en la dirección y.

La **pluma atrapada** (trapped plume) ocurre cuando el contaminante es emitido en una capa no estable de aire atrapado entre una capa de inversión y el suelo.

La **pluma ondulante** (looping plume) ocurre durante una condición no estable de viento suave en las tardes de verano, cuando remolinos de gran escala acarrear porciones de la pluma hacia el suelo en un patrón tirabuzón. La pluma que toca el suelo por poco tiempo producirá una concentración alta de contaminantes durante ese período de tiempo.

La **pluma elevada** (lofting plume) ocurre cuando la chimenea libera por sobre una capa de inversión o cuando la flotación de la pluma lleva una emisión de chimenea a través de una capa de inversión a otra capa situada más arriba. La pluma se dispersa por sobre la inversión ya que la parte superior de la capa de inversión actúa como barrera que previene que todas las emanaciones gaseosas o de pequeñas partículas lleguen al suelo. Este tipo de pluma es uno de los principales objetivos de la operación de altas chimeneas de plantas industriales y eléctricas.



ESTABILIDAD ATMOSFERICA.

1. Clases de estabilidad atmosférica.

Los parámetros atmosféricos son críticos para el uso de modelos de difusión de contaminantes. En efecto, los coeficientes de dispersión que aparecen en las fórmulas Gaussianas, están determinados por el mezclado o poder dispersivo del flujo turbulento dentro de la capa límite atmosférica. Para este propósito, *Pasquill* propuso un método que permite determinar los coeficientes de dispersión a partir de una clasificación sencilla de las condiciones atmosféricas, definidas como categorías de estabilidad. La ventaja de esta clasificación es que para aplicarla, solamente es necesario utilizar información convencional suministrada por el servicio meteorológico local. Pasquill propuso seis categorías de estabilidad, a saber:

A	extremadamente inestable;
B	moderadamente inestable;
C	ligeramente inestable;
D	neutral;
E	ligeramente estable;
F	moderadamente estable.

El método permite asociar a cualquier situación atmosférica, alguna de las seis categorías anteriores. Los factores determinantes de las clases de estabilidad son:

- La velocidad del viento.
- La nubosidad.
- El flujo neto de radiación que llega a la Tierra, que afecta al gradiente térmico vertical (lapse rate), a la presencia o ausencia de actividad convectiva y a la dinámica de la capa de mezclado.

Posteriormente, Gifford caracteriza las clases de estabilidad propuestas por Pasquill como alguna de las nueve clases que se muestran en la Tabla I:

Velocidad del viento en la superficie (m/seg)	Insolación durante el día			Condiciones nocturnas	
	Fuerte	Moderada	Débil	Nubosidad	
				> 4/8	< 4/8
< 2	A	A - B	B	-	-
2	A - B	B	C	E	F
4	B	B - C	C	D	E
6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Tabla I

Las clases de estabilidad A, B y C representan las condiciones diurnas con cantidades variables de radiación ingresante a la Tierra. Los valores de σ_y y σ_z se determinan a partir de gráficas suministradas originalmente por Gifford. En ellas se muestran, en forma separada para cada σ , las curvas para los diferentes tipos de estabilidad.

Los valores de los coeficientes de dispersión para los tipos A-B, B-C y C-D se obtienen promediando los valores de σ_y y σ_z para ambas clases de estabilidad. Conviene destacar, que de acuerdo a los estudios realizados por Gifford, estos valores

de σ_y y σ_z son apropiados para procesos de difusión a baja altura y para emisiones de gases que no experimentan fuerzas de flotación sobre terreno abierto.

Por otra parte **Turner**, redefine nuevamente las categorías de estabilidad de Pasquill de un modo tal que permite calcularlas utilizando la misma información meteorológica convencional, pero haciendo uso de aquella que rutinariamente se codifica en los partes meteorológicos. Establece siete categorías de estabilidad en lugar de las seis de Pasquill, y establece a su vez, la siguiente correspondencia entre categorías como puede apreciarse en la Tabla II:

Según Turner	Según Pasquill	Denominación
1	A	Extremadamente inestable
2	B	Moderadamente inestable
3	C	Ligeramente inestable
4	D	Neutral
5	E	Ligeramente estable
6	F	Moderadamente estable
7	-	Extremadamente estable

Tabla II

Golder realizó un estudio para determinar cual es la correspondencia real entre ambas clasificaciones y llegó a la siguiente conclusión (ver Tabla III):

Correspondencia según Golder	
Turner	Pasquill
1	A
2	B
3	C
4	D
5	-
6	E
7	F

Tabla III

Golder concluye que las condiciones en que se da la ocurrencia de la categoría 5 de Turner representa un intermedio entre las condiciones asociadas a las categorías 4 y 6 de Pasquill. Por consiguiente, como metodología de cálculo debería emplearse la clasificación de Turner para la determinación de la clase de estabilidad, pero usando la correspondencia propuesta por Golder para la determinación final de la categoría según Pasquill.

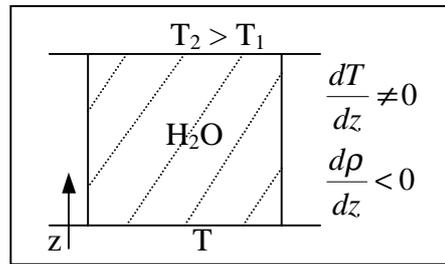
2. Criterios para determinar la estabilidad.

2.1 Estabilidad estática de la atmósfera:

Hipótesis:

A) El fluido es incompresible $\Rightarrow \rho \neq \rho(p)$

- B) ρ puede variar debido a que su coeficiente de expansión térmica es finito cuando el campo de temperaturas es uniforme.



Un fluido estratificado posee predominantemente un gradiente vertical de densidad, entonces:

- Si $\frac{dT}{dz} > 0 \Rightarrow \frac{d\rho}{dz} < 0 \Rightarrow$ condición estable.
- Si $\frac{dT}{dz} = 0 \Rightarrow \frac{d\rho}{dz} = 0 \Rightarrow$ condición neutra.
- Si $\frac{dT}{dz} < 0 \Rightarrow \frac{d\rho}{dz} > 0 \Rightarrow$ condición inestable.

2.2 Estabilidad en términos de la temperatura potencial, “ θ ”

Se puede demostrar que si $\frac{d\theta}{dz} = 0 \Rightarrow \theta \neq \theta(z)$ y haciendo referencia al ítem 3.1, podemos concluir que:

- $\left. \frac{dT}{dz} < \frac{dT}{dz} \right|_{ad} \Rightarrow \frac{d\theta}{dz} > 0 \Rightarrow$ condición estable.
- $\left. \frac{dT}{dz} = \frac{dT}{dz} \right|_{ad} \Rightarrow \frac{d\theta}{dz} = 0 \Rightarrow$ condición neutra.
- $\left. \frac{dT}{dz} > \frac{dT}{dz} \right|_{ad} \Rightarrow \frac{d\theta}{dz} < 0 \Rightarrow$ condición inestable.

2.3 Estabilidad en términos de la densidad potencial, “ ρ^* ”.

Como en el caso anterior se puede demostrar que si $\frac{d\rho^*}{dz} = 0 \Rightarrow \rho^* \neq \rho^*(z)$ y haciendo referencia al ítem 3.1, podemos concluir que:

- $\left. \frac{dT}{dz} < \frac{dT}{dz} \right|_{ad} \Rightarrow \frac{d\rho^*}{dz} < 0 \Rightarrow$ condición estable.
- $\left. \frac{dT}{dz} = \frac{dT}{dz} \right|_{ad} \Rightarrow \frac{d\rho^*}{dz} = 0 \Rightarrow$ condición neutra.
- $\left. \frac{dT}{dz} > \frac{dT}{dz} \right|_{ad} \Rightarrow \frac{d\rho^*}{dz} > 0 \Rightarrow$ condición inestable.

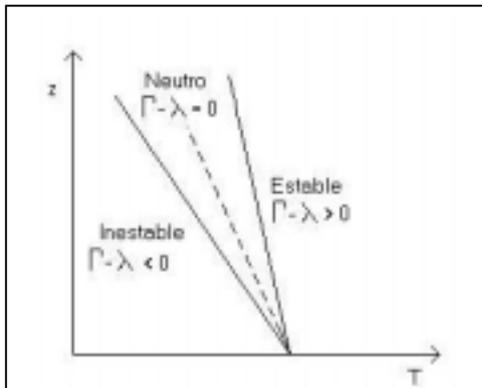


Figura VIII: Criterios de estabilidad atmosférica en función de la temperatura.

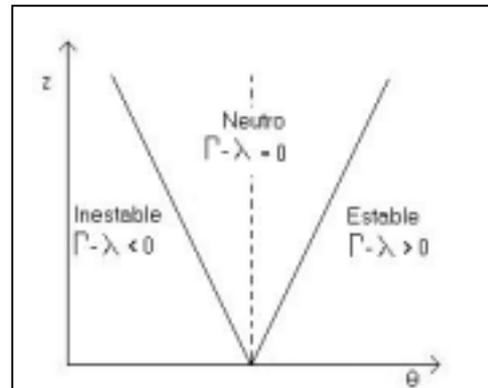


Figura IX: Criterios de estabilidad atmosférica en función de la temperatura potencial.

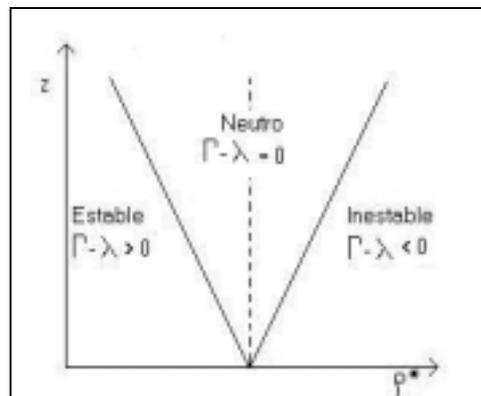


Figura X: Criterios de estabilidad atmosférica en función de la densidad potencial.

Donde: $\lambda = -\frac{dT}{dz}$ y $\Gamma = \left. \frac{dT}{dz} \right|_{ad}$.

Nota: observese que parecería haber una incompatibilidad con las relaciones presentadas en la página 5, pero es debido a como se definió el λ ($-dT/dz$).

**DIFUSION DE LOS PRODUCTOS
DE COMBUSTION DEL PVC
(POLICLORURO DE VINILO)
EN LA ATMOSFERA
SOBRE LA CIUDAD DE ROSARIO**

**SAX's DANGEROUS PROPERTIES OF
INDUSTRIAL MATERIAL, 9° EDITION:
GLOSARIO.
INFORMACIÓN SOBRE SEGURIDAD QUÍMICA**

ANEXO

2

SAX's Dangerous Properties of Industrial Materials, 9th Edition: Glosario. Información sobre seguridad química.

A

- ◆ **Allergic contact dermatitis:** es un tipo de hipersensibilidad de la piel.
- ◆ **The Ames Test:** es un test usado para evaluar si un químico podría ser cancerígeno.
- ◆ **ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)**

B

- ◆ **The breakthrough time:** es el tiempo tomado en los tests estándar para la detección de un químico, que se impregna en una barrera protectora (como por ejemplo un guante de goma).

C

- ◆ **A carcinogen:** es un químico que causa cáncer en humanos.
- ◆ **CAS (Chemical Abstracts Service):** es un número asignado por la American Chemical Society's a cada compuesto químico.
- ◆ **A chronic hazard:** es un químico que tiene un potencial capaz de causar a largo tiempo daño en la salud, como consecuencia de la repetida y/o prolongada exposición al mismo.
- ◆ **COSHH (The Control of Substances Hazardous to Health):** a cada sustancia se le asigna un número que indica el peligro que se corre al trabajar con la misma.

D

- ◆ **DPIM Entry Code:** identifica a cada entrada con un único código formado por 3 letras y 3 números.(se utiliza en el SAX's).
- ◆ **DOT(Department of Transportation):** es un código de peligrosidad asignado por este departamento

E

- ◆ **ED50 (Effective Dose 50):** es la cantidad de material requerida para producir un efecto específico en el 50% de una población animal.
- ◆ **EPA (U.S. Environment Protection Agency).**

F

- ◆ **The Flash Point of a Chemical:** es la mas baja temperatura a la cual la llama puede propagarse a través de vapor de un material combustible a la superficie del líquido.
- ◆ **FDA (U.S. Food and Drugs Administration)**
- ◆ **FCC (Food Chemical Codex)**

H

- ◆ **Hazard Rating (HR):** a cada material se le asigna un número (1, 2 o 3) que identifica el nivel de toxicidad o peligrosidad.
El número "3" indica un **LD50** inferior a 400 mg/Kg o un **LC50** inferior a 100 ppm, o que el material es explosivo, altamente inflamable o altamente reactivo.
El número "2" indica un **LD50** entre 400 y 4,000 mg/Kg o un **LC50** entre 100 y 500 ppm, o que el material es inflamable o reactivo.
El número "1" indica un **LD50** entre 4000 y 40,000 mg/Kg o un **LC50** entre 500 y 5000 ppm, o que el material es combustible o tiene cierto peligro de reactividad.

- ◆ **A Hematopoietic agent:** es un químico que interfiere en el sistema sanguíneo y disminuye la habilidad de la hemoglobina en el transporte de oxígeno.
- ◆ **A Hepatotoxin:** es un químico capaz de producir daño en el hígado.
- ◆ **HSE (The Health and Safety Executive):** es el responsable de proponer y hacer cumplir las regulaciones de seguridad en las industrias.

I

- ◆ **IARC (Internatinal Agency for Research in Cancer)**
- ◆ **IOSH (Institute for Occupational Safety and Health)**
- ◆ **An Irritant:** es un químico que puede causar hinchazón por contacto.

L

- ◆ **LC50 (Lethal Concentration 50):** es la concentración en un químico que mata al 50% de la muestra de una población.
- ◆ **LD50 (Lethal Dose 50):** es la dosis en un químico que mata al 50% de la muestra de una población.
- ◆ **LDLO (Lethal Dose Low)**

M

- ◆ **The MEL (Maximum Exposure Limit):** es la máxima concentración permitida de un químico a la cual un trabajador podría estar expuesto por un extenso período de tiempo. Suele expresarse en ppm cada 8 horas.

N

- ◆ **NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)**
- ◆ **A Nephrotoxin:** es un químico que puede causar daño en el riñón.
- ◆ **A Neurotoxin:** es un químico cuyo primordial accionar está en el Sistema Nervioso Central.

O

- ◆ **OEL (Occupational Exposure Limit):** es el límite en la concentración de un químico a la cual un trabajador puede estar expuesto.
- ◆ **OSHA (Occupational Safety and Health Administration)**

P

- ◆ **PEL (Permissible Exposure Limit)**
- ◆ **PPM (Parts Per Millon)**

R

- ◆ **A Reproductive Toxin:** es un químico que puede causar defectos al nacer o esterilidad, por ejemplo el Cloruro de Vinilo.
- ◆ **A substance's RTECS number:** es un número de identificación asignado por la US Registry of Toxic Effects of Chemical Substances.

S

- ◆ **A Sensitizer:** es un químico que puede conducir al desarrollo de reacciones alérgicas después de repetida exposición.
- ◆ **STEL (Short Term Exposure Limit):** es la máxima concentración permisible de un material, expresada generalmente en ppm en el aire por un período de tiempo corto (generalmente 5 minutos).

T

- ◆ **A Teratogen:** es un químico que puede causar mutaciones genéticas o malformaciones durante el desarrollo del feto.
- ◆ **TLV (Threshold Limit Value):** es la máxima concentración permisible de un material, expresado generalmente en ppm en aire durante un determinado período de tiempo (generalmente 8 horas).
- ◆ **TWA (Time Weighted Average):** este término es usado en las especificaciones de la OELs (Occupational Exposure Limits) para definir la concentración promedio de un químico, la cual es permisible para un trabajador expuesto al mismo durante un período determinado de tiempo (generalmente 8 horas).

V

- ◆ **VOCs (Volatile Organic Compounds)**

**DIFUSION DE LOS PRODUCTOS
DE COMBUSTION DEL PVC
(POLICLORURO DE VINILO)
EN LA ATMOSFERA
SOBRE LA CIUDAD DE ROSARIO**

**GENERALIDADES SOBRE EL PVC
(POLICLORURO DE VINILO)**

ANEXO

3

POLICLORURO DE VINILO

1. Propiedades

El PVC es un material termoplástico, es decir, que bajo la acción del calor se reblandece y puede así moldearse fácilmente; al enfriarse recupera la consistencia inicial y conserva la nueva forma.

Otra de sus muchas propiedades es su larga duración. Por este motivo, el PVC es utilizado a nivel mundial en un 55% del total de su producción en la industria de la construcción.

El 64% de las aplicaciones del PVC tienen una vida útil entre 15 y 100 años, y es esencialmente utilizado para la fabricación de tubos, ventanas, puertas, persianas, muebles, etc. Un 24% tiene una vida útil entre 2 y 15 años (utilizado para electrodomésticos, piezas de automóvil, mangueras, juguetes, etc.). El resto –12%– es usado en aplicaciones de corta duración, como por ejemplo, botellas, tarrinas, film de embalaje, etc., y tiene un vida útil entre 0 y 2 años. La mitad de este porcentaje (un 6%) es utilizado para envases y embalajes, razón por la que el PVC se encuentra en cantidades muy pequeñas en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU): tan sólo el 0,7%.

Otras propiedades del PVC, que hacen que ocupe un lugar privilegiado dentro de los plásticos, son las siguientes: ligero; inerte y completamente inocuo; resistente al fuego –no propaga la llama–; impermeable; aislante –térmico, eléctrico y acústico–; resistente a la intemperie; de elevada transparencia; protector de alimentos y otros productos envasados, incluidas las aplicaciones médicas (por ejemplo, plasma y sangre); económico en cuanto a su relación calidad-precio; y reciclable, fácil de transformar (por extrusión, inyección, calandrado, prensado, recubrimiento y moldeo de pastas).

El PVC pertenece a la Química del Cloro.

Hoy en día, más del 60% de la industria química depende directa o indirectamente del uso del cloro. El 85% de las medicinas se fabrican gracias a la química del cloro. El 98% del agua potable de la Europa Occidental se puede beber sin peligro gracias al cloro.

PROPIEDADES MECANICAS	UNIDAD	NORMA ASTM	NORMA DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO A 23°C	gr/cm ³	D-792	53479	1.35 - 1.45
RESISTENCIA A LA TRACCION	kg/cm ²	D-638	53455	350 - 520
RESISTENCIA A LA COMPRESION	kg/cm ²	D-695		560
RESISTENCIA A LA FLEXION	kg/cm ²	D-790		700
RESISTENCIA AL CHOQUE SIN ENTALLA	kg cm/cm ²			NO ROMPE
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638		2 - 40
MODULO DE ELASTICIDAD EN TRACCION	kg/cm ²	D-638		24500-40000
DUREZA	Shore D	D-785		80 - 83
COEF. DE ROCE ESTATICO SOBRE ACERO				
COEF. DE ROCE DINAMICO SOBRE ACERO				
RESISTENCIA AL DESGASTE POR ROCE				MALA
PROPIEDADES TERMICAS	UNIDAD	NORMA ASTM	NORMA DIN	VALORES
CALOR ESPECIFICO	Kcal/Kg/°C			0.2 - 0.3

TEMP. DE FLEXION BAJO CARGA (18.5Kg/Cm ²)	°C	D-648		55
TEMP. DE USO CONTINUO	°C			60
TEMP. DE FUSION	°C			150
COEF. DE DILATACION LINEAL	por °C			0,00011
COEF. DE CONDUCCION TERMICA	Kcal/m/h/°C			0.22
PROPIEDADES ELECTRICAS	UNIDAD	NORMA ASTM	NORMA DIN	VALORES
CONSTANTE DIELECTRICA A 60 HZ		D-150	53483	3.2 - 3.6
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 KHZ		D-150	53483	3.0 - 3.3
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 MHZ		D-150	53483	2.8 - 3.1
ABSORCION DE HUMEDAD AL AIRE	%	D-570		0.05 - 0.4
RESISTENCIA SUPERFICIAL	Ohms			
RESISTENCIA VOLUMETRICA	omhs-cm			
RIGIDEZ DIELECTRICA	kv/mm			11 - 40

PROPIEDADES QUIMICAS	OBSERVACIONES
RESISTENCIA A HIDROCARBUROS	DEFICIENTE
RESISTENCIA A ACIDOS DEBILES A TEMP. AMBIENTE	BUENA
RESISTENCIA A ALCALIS DEBILES A TEMP. AMBIENTE	BUENA
RESISTENCIA A PROD. QUIMICOS DEFINIDOS	CONSULTAR EN CADA CASO
EFFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	LO AFECTAN
APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS	SI
COMPORTAMIENTO A LA COMBUSTION	ARDE CON DIFICULTAD
PROPAGACION DE LLAMA	AUTOEXTINGUIBLE
COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO	SE ABLANDA Y DESCOMPONE
COLOR DE LA LLAMA	AMBAR CON BORDE VERDE
OLOR AL QUEMARLO	COLORO

2. El PVC en la vida diaria: sus múltiples aplicaciones

Construcción: tubos para distribución de agua potable y evacuación; ventanas; puertas; persianas; suelos, láminas para impermeabilización de tejados y piscinas; revestimientos murales; perfiles rígidos para cables eléctricos, etc.

Envase y embalaje: botellas (agua mineral, aceites comestibles, zumos, etc.), tarrinas, envases farmacéuticos, cosméticos, detergentes, etc.

Medicina: Bolsas para suero, plasma y sangre, catéteres para transfusiones y diálisis, y guantes quirúrgicos. El uso del PVC como material de envasado y conservación de la sangre humana y el plasma permite prolongar en un 30% la vida útil de estas sustancias biológicas.

Automóvil: paneles de puertas, tableros de mandos, perfiles embellecedores, cables eléctricos, juntas de ventanas, tapicerías, etc.

Electricidad y electrónica: cables eléctricos para uso doméstico e industrial, cajas de distribución, perfiles rígidos para cables, tubos, enchufes, etc.

Agricultura: láminas para impermeabilización de balsas y canales para riego; tubos para riego y drenaje; mangueras; films para invernaderos, etc.

Juguetes: muñecas, pelotas, etc.

Marroquinería: bolsos, maletas, carpetas, tapicerías, etc.

Artículos de papelería: carpetería, forro para libros, etc.

3. Aditivos del PVC.

Ninguna materia plástica puede ser utilizada sin aditivos. El papel de los principales aditivos es el siguiente:

- **Estabilizantes:** protegen al PVC contra la degradación por el calor y la luz.
- **Plastificantes:** dan al PVC una cierta flexibilidad.
- **Lubricantes:** los internos reducen la viscosidad del PVC fundido. Los externos impiden la adherencia y retardan la gelificación.
- **Cargas:** mejoran las propiedades mecánicas y disminuyen el precio del compuesto.
- **Pigmentos:** dan al PVC la coloración deseada, la opacidad y la protección contra los rayos U.V.

4. El PVC y el medio ambiente

Las acusaciones que se hacen son que la vida del PVC está ligada a la formación y emisión continua de grandes cantidades de dioxinas, que es cancerígeno y no es reciclable.

¿Qué son las Dioxinas? se trata de subproductos creados de forma involuntaria como resultado de una deficiente combustión.

Como ejemplos, cabe citar, las dioxinas producidas por vehículos motorizados de todo tipo (coches, camiones, barcos, etc.); por la combustión de madera; por incendios forestales; por volcanes; por abonos, por aplicación de lodos de depuradoras como fertilizantes, por las emanaciones provenientes de vertederos, etc.

Otra de las fuentes de producción de dioxinas es la industria metalúrgica, principalmente durante el proceso de fundición y afinado o en las operaciones de recuperación de chatarra.

Para finalizar falta indicar las producidas por las incineradoras municipales, hospitalarias, y de residuos tóxicos y peligrosos, (exceptuando aquellas incineradoras que cumplen la teoría de las tres 'T': Temperatura, Tiempo y Turbulencia, o sea Temperatura de combustión por encima de los 850°C, Tiempo de residencia de 2 segundos a dicha temperatura, y mantenimiento de un régimen de Turbulencia durante la combustión).

Investigaciones realizadas han demostrado que los niveles de dioxinas en el ambiente (aire y agua) han comenzado a disminuir a partir de finales de los años 70. Las razones principales de esta disminución residen en la mejora de la tecnología de la incineración de residuos. Aplicando la tecnología de las tres T las incineradoras de Residuos Sólidos Urbanos destruyen las dioxinas.

En lo que respecta al reciclado de los residuos industriales de PVC es la forma más usual de recuperarlo. Es corriente reciclar cantidades de hasta un 20% de material, mezclado con PVC virgen.

Debido a su inercia química, la presencia de residuos de PVC tanto en los vertederos controlados como si son abandonados en la naturaleza, garantiza la no contaminación de las capas freáticas del suelo.

Los sistemas de seguridad de las fábricas de PVC están diseñados para reaccionar automáticamente ante el mínimo problema. Estas instalaciones cuentan con sistemas de detección del ambiente industrial, encargados de medir la cantidad de monómero en la atmósfera de la planta. La medida utilizada son los ppm —partes de sustancia por millón—. La ley determina una concentración máxima en las plantas de 3 ppm.

Respecto al transporte, el PVC no plantea ningún problema, ya que es un material sólido e inócuo, químicamente inerte e ignífugo y no está catalogado como mercancía peligrosa. El transporte de VCM está sujeto a severas normas de seguridad.

PVC: COMPORTAMIENTO EN CASO DE INCENDIO

El PVC resiste sin modificación hasta los 100 ° C y la verdadera combustión entendida como define la norma UNE 23.7272-90 (reacción exotérmica de una sustancia, llamada combustible, con un oxidante, llamado comburente, y que va acompañado por una emisión lumínica en forma de llamas o incandescencia con desprendimiento de productos volátiles y/o humos, y que puede dejar un residuo de cenizas) no se produce, salvo excepciones, antes de los 250-300 ° C.

Por otro lado, existen una serie de ensayos de laboratorio (aplicando llama) que permiten comprobar la reacción de los materiales ante el fuego y clasifican la combustibilidad de estos en diferentes grados que son:

M0: aquellos que apenas se encienden realizando los ensayos.

M1: aquellos que arden en la llama pero que se apagan en ausencia de ésta.

M2: aquellos que continúan ardiendo aún después del encendido.

M3: aquellos que arden vigorosamente o explotan.

La mayoría de las formulaciones de PVC ensayados dan un grado de combustibilidad M1, lo que significa que sólo queman mientras se les aplica la llama, apagándose inmediatamente cuando ésta se retira.

El buen comportamiento del PVC ante el fuego se debe al alto porcentaje de cloro (un halógeno que se utiliza como ignífugo en algunos materiales y que está presente en algunos agentes extintores denominados halones), elemento ignífugo por constitución y que dificulta la acción de la llama, arde con dificultad y no la propaga.

Cuando el PVC arde o combustiona, desprende monóxido de carbono, dióxido de carbono y cloruro de hidrógeno (gas), pero no se ha detectado nunca ni cloro libre ni trazas de fósforo (gases altamente tóxicos). Por otro lado, se ha demostrado que el PVC no puede, por sí mismo, producir dioxinas y furanos. Numerosos estudios recientes han probado que cualquiera que sea la cantidad de PVC contenida en el combustible (básicamente en basuras orgánicas) la cantidad de las Dibenzo-p-dioxinas policloradas (no cancerígenas para los humanos), ha permanecido constante respecto a la producida en ausencia de éste.

Todos los estudios efectuados sobre la toxicidad de los gases producidos en las combustiones de PVC respecto a la de los gases producidos en la combustión de otro tipo de materiales entre ellos la madera, el algodón, otros tipos de plásticos, etc., han mostrado que la toxicidad relativa de éstos depende de muchos factores como son la temperatura de descomposición, el método de descomposición, el flujo de aire, la humedad, el grado de oxígeno presente, el tamaño de la habitación.

Numerosos estudios realizados en incendios donde existía o se almacenaba gran cantidad de PVC han demostrado, por un lado, que los residuos tóxicos producidos no contienen cantidades anormales de dioxinas o furanos y, por otro lado, que los humos generados, en general, y los efectos destructivos materiales y humanos del ácido

clorhídrico (siempre en solución en presencia de agua o humedad), en concreto, han sido de un nivel parecido o incluso en ocasiones inferior a los generados en incendios de similares magnitudes que han involucrado materiales tradicionales (por ejemplo de madera).

El humo (gases tóxicos y/o corrosivos junto con partículas sólidas) generado en un incendio es el principal responsable de la pérdida de vidas humanas, ya sea por su naturaleza tóxica o por su naturaleza asfixiante debido al desplazamiento del aire (y por tanto del oxígeno) que nos rodea y que nos es imprescindible para la vida. Es, por tanto, un enemigo importante para las personas afectadas pero no para los equipos de extinción dado que estos utilizan equipos de respiración autónoma con presión positiva y equipos de protección personal.

El monóxido de carbono (gas extraordinariamente tóxico que, incluso en pequeñas cantidades, se combina con la hemoglobina de la sangre e impide el transporte de oxígeno a las células, lo que provoca mareos y vértigo, dolor de cabeza, un estado de aturdimiento y, finalmente, la muerte) generado en cualquier combustión es, junto con el dióxido de carbono (cuya peligrosidad radica en su capacidad de desplazamiento del aire -oxígeno- que nos rodea y por tanto en su naturaleza asfixiante), el gas más peligroso que podemos encontrar en un incendio, debido a sus especiales características, como el hecho de ser inodoro (no se detecta con el olfato) e incoloro (no se detecta con la vista), a diferencia del cloruro de hidrógeno que se huele y se ve y que, por tanto, se detecta fácilmente y cuyo nivel de toxicidad es más bajo que el primero.

Bibliografía

- CIC Información. "La protección pasiva contra el fuego y los productos intumescentes". Febrero 2. 214/92.
- Agrupación Nacional Autónoma de Industriales de Plásticos. "Los plásticos y el fuego".
- Bre Digest. "Concise reviews of building technology. PVC-U windows". Digest 404 April 1995.
- Tabla de identificación de plásticos. Dr. Hansjürgen Saechtling.
- Robert K. Hinderer (The BF Goodrich Company. Environmental Health Department). The combustion toxicity of Polyvinil Chloride. "A comparative review of the Combustion Toxicity of Polyvinil Chloride". Capítulo 6 (págs. 81-93)
- F. Merrill Galloway and Marcelo M. Hirschler (BF Goodrich Technicel Center, Ohio). Fire and Polymers. "Fire Hazard in a Room Due to a Fire Starting in a Plenum. Effect of PVC Wire Coating". Capítulo 34 (págs. 592-609).
- J.E. Doe (Central Toxicology Laboratory of Cheshire, United Kingdom). The Combustión Toxicology of Polyvinylchloride Revisited. "The Combustion Toxicology of Polyvynilchloride Revisited". Capítulo 13 (págs. 185-201).
- D. José Miguel Lacosta Berna (Experto Superior en Seguridad). Prevención nº 122 Octubre-Diciembre 1992.

**DIFUSION DE LOS PRODUCTOS
DE COMBUSTION DEL PVC
(POLICLORURO DE VINILO)
EN LA ATMOSFERA
SOBRE LA CIUDAD DE ROSARIO**

MSDS: MATERIAL SAFETY DATA SHEET

**ANEXO
4**

MSDS: Material Safety Data Sheet

1. ¿Qué es un MSDS? MSDS: Material Safety Data Sheet (hoja de datos de seguridad de materiales)

Este material está designado para proveer a los trabajadores y al personal de emergencia la correcta metodología en la manipulación de sustancias. Incluye información como propiedades físicas (punto de fusión, punto de ebullición), toxicidad, efectos a la salud, primeros auxilios, reactividad, almacenamiento, eliminación, equipo de protección, derrame o fuga.

1.1- ¿Dónde podemos encontrar un MSDS?

En un laboratorio debería haber una colección de MSDS que vienen con los mismos productos químicos.

En Internet hay una gran variedad de sitios.

1.2- Sitios en Internet

Generales

1. Cornell University
2. Hazard.com
3. ECDIN(Environmental Chemical Data and Information Network)
4. ChemExpert
5. Enviro-net MSDS

Gubernamentales y sin fines de lucro

1. North American Emergency Response Guidebook
2. The National Toxicology Program (National Institute of Health)
3. CDC/NIOSH/WHO International Chemical Safety Cards
4. Internatinal Agency for Research on Cancer, IARC
5. Envirofacts Chemical Reference (U.S.EPA)
6. U.S.Environmental Protection Agency

2. NIOSH, IDLHs, información general.

Particularmente, visitamos en Internet el sitio NIOSH, “National Institute for Occupational Safety and Health”, de donde obtuvimos los valores IDLHs para el Cloruro de Hidrogeno, sumada a información general de los mismos.

IDLHs: "Immediately Dangerous to Life or Health air concentration values", son valores de concentración en el aire que resultan peligrosos para la vida o la salud.

Los mismos fueron publicados por la (NIOSH), *National Institute for Occupational Safety and Health*, a partir de 1970, para 400 sustancias.

Representan la máxima concentración a la cual un trabajador masculino puede estar expuesto hasta 30 minutos sin experimentar ningún efecto sobre la salud que pueda ser deteriorante o irreversible. Con dicha concentración un trabajador podría escapar sin tener efectos nocivos como desorientación o incoordinación.

Aunque en muchos casos, la salida de un sitio de trabajo podría ocurrir en mucho menos de 30 minutos, como margen de seguridad los IDLHs se basaron en ese período de exposición.

En algunos casos los valores fueron determinados por estudios en humanos que estuvieron expuestos a ciertas sustancias durante este período de tiempo.

Otros datos se obtuvieron a partir de estudios de toxicidad en animales (ratas, ratones, conejillos de India, hámsters) estimando luego los IDLHs en un trabajador de 70 Kg.

Los **IDLHs “corregidos o revisados”** son un combinación de los determinados en un principio (a mediados de los 70), mas una nueva metodología desarrollada por la NIOSH.

La EPA recomienda dividir los IDLHs por 10 para convertir una concentración escasamente tolerable para un varón saludable a un valor que proteja a todos los miembros de una población.

Desde el punto de vista toxicológico, las concentraciones se deben dar en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o mg/lt . La conversión para el paso de ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es la siguiente:

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = (\text{ppm}) \times \frac{p \times M}{R \times T} \times 10^3$$

- P = presión en atm.
- M = peso molecular del gas.
- R = 0,0821 lt atm./°K mol
- T = temperatura absoluta en °K.

**DIFUSION DE LOS PRODUCTOS
DE COMBUSTION DEL PVC
(POLICLORURO DE VINILO)
EN LA ATMOSFERA
SOBRE LA CIUDAD DE ROSARIO**

DATOS METEREOLÓGICOS

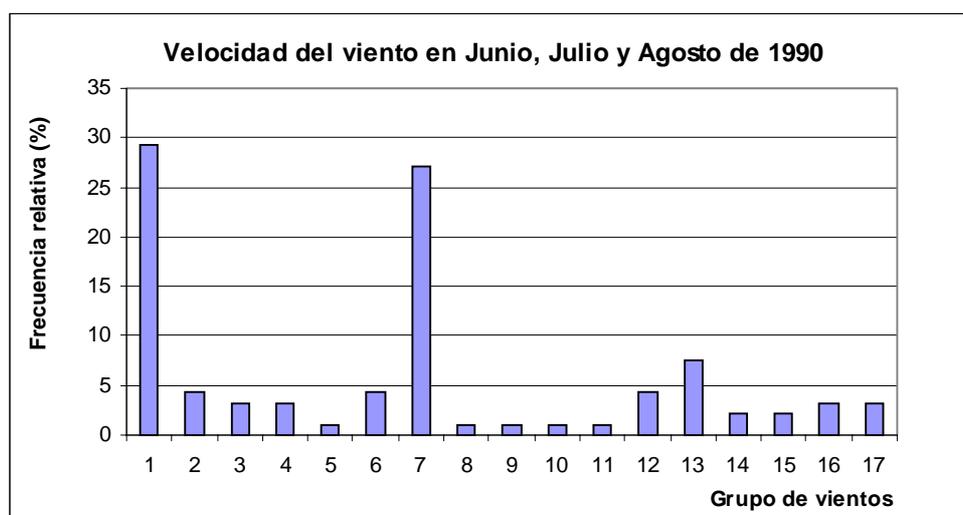
ANEXO

5

DATOS METEOROLÓGICOS

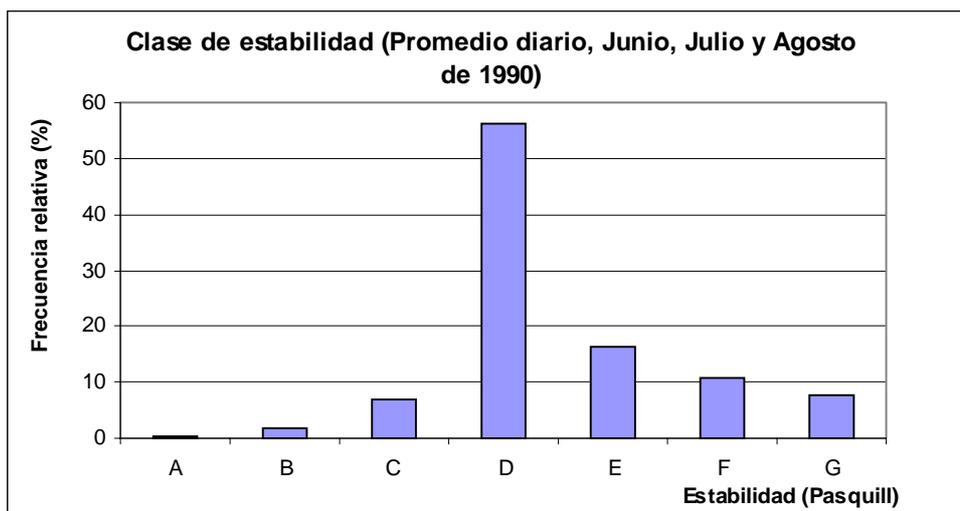
Velocidad del viento en Junio, Julio y Agosto de 1990

Grupo	Vel. (nudos)	Vel. (m/s)	Frecuencia	Frec. Relativa %	RANDOM
1	0	0	27	29	0 a 28
2	3	1.542	4	4	29 a 33
3	4	2.056	3	3	34 a 37
4	5	2.570	3	3	38 a 40
5	6	3.083	1	1	41
6	8	4.111	4	4	42 a 46
7	10	5.139	25	27	47 a 73
8	11	5.653	1	1	74
9	12	6.167	1	1	75
10	13	6.681	1	1	76
11	14	7.195	1	1	77
12	15	7.709	4	4	78 a 81
13	16	8.222	7	8	82 a 89
14	17	8.736	2	2	90 a 91
15	18	9.250	2	2	92 a 93
16	19	9.764	3	3	94 a 96
17	20	10.278	3	3	97 a 99



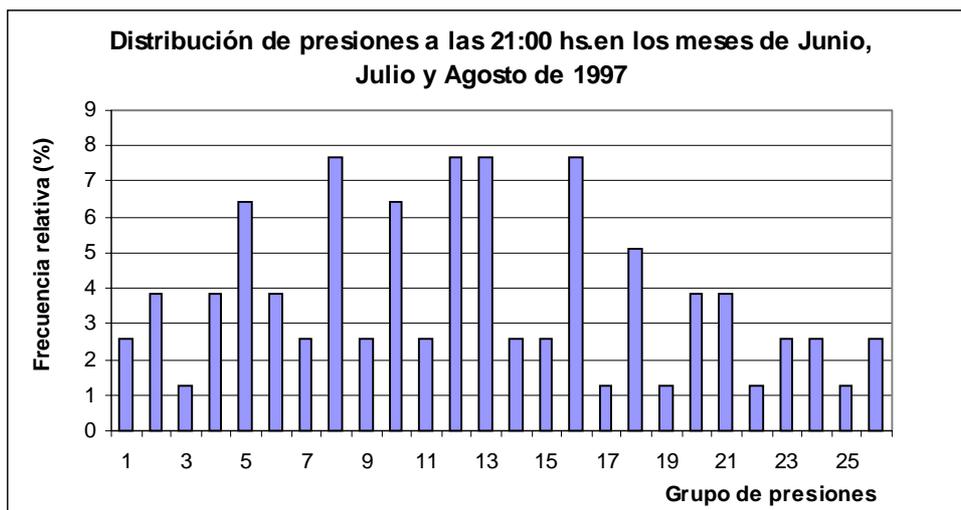
Clase de estabilidad (Promedio diario, Junio, Julio y Agosto de 1990)

Pasquill	Frecuencia	Frec. Relativa %	RANDOM
A	2	0	0
B	18	2	1
C	69	7	2 a 8
D	549	56	9 a 64
E	158	16	65 a 80
F	106	11	81 a 91
G	73	7	92 a 99



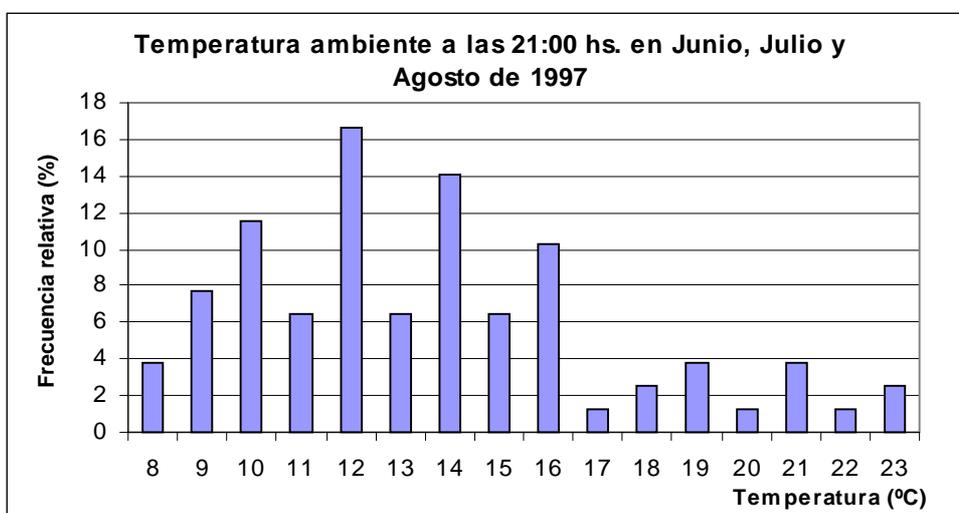
Presiones a las 21:00 hs. en Junio, Julio y Agosto de 1997

Grupo	Presión (mb)	Presión (atm)	Frecuencia	Frec. relativa %	RANDOM
1	997	0.984	2	3	2 a 4
2	998	0.985	3	4	5 a 8
3	1000	0.987	1	1	9
4	1001	0.988	3	4	10 a 13
5	1002	0.989	5	6	14 a 19
6	1003	0.990	3	4	20 a 23
7	1004	0.991	2	3	24 a 26
8	1005	0.992	6	8	27 a 34
9	1006	0.993	2	3	35 a 37
10	1007	0.994	5	6	38 a 43
11	1008	0.995	2	3	44 a 46
12	1009	0.996	6	8	47 a 54
13	1010	0.997	6	8	55 a 62
14	1011	0.998	2	3	63 a 65
15	1012	0.999	2	3	66 a 68
16	1013	1.000	6	8	69 a 76
17	1014	1.001	1	1	77
18	1015	1.002	4	5	78 a 82
19	1016	1.003	1	1	83
20	1017	1.004	3	4	84 a 87
21	1018	1.005	3	4	88 a 91
22	1019	1.006	1	1	92
23	1020	1.007	2	3	93 a 95
24	1023	1.010	2	3	96 a 98
25	1024	1.011	1	1	99
26	1027	1.014	2	3	0 a 1

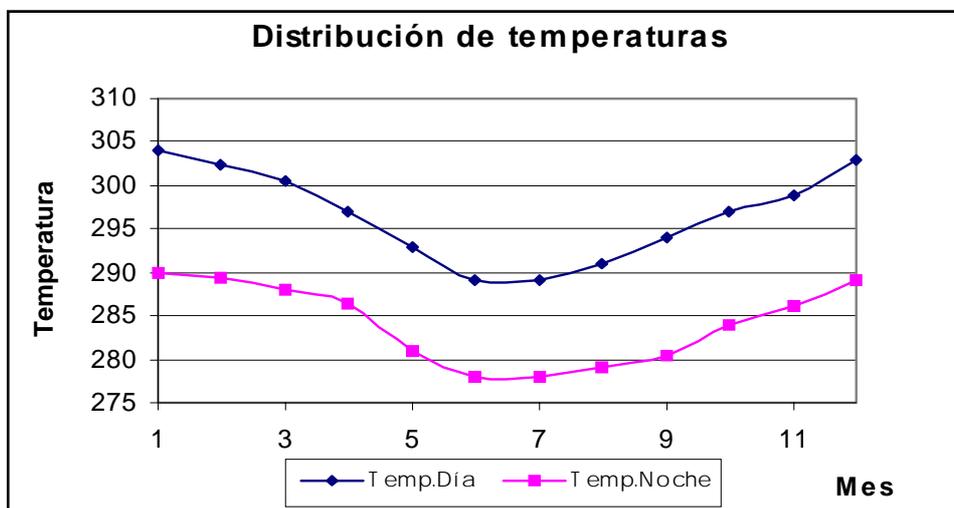


Temperatura ambiente a las 21:00 hs. en Junio, Julio y Agosto de 1997

Temp (°C)	Frecuencia	Frec. relativa %	RANDOM
8	3	4	0 a 3
9	6	8	4 a 11
10	9	12	12 a 23
11	5	6	24 a 29
12	13	17	30 a 46
13	5	6	47 a 52
14	11	14	53 a 66
15	5	6	67 a 72
16	8	10	73 a 82
17	1	1	83
18	2	3	84 a 86
19	3	4	87 a 90
20	1	1	91
21	3	4	92 a 95
22	1	1	96
23	2	3	97 a 99



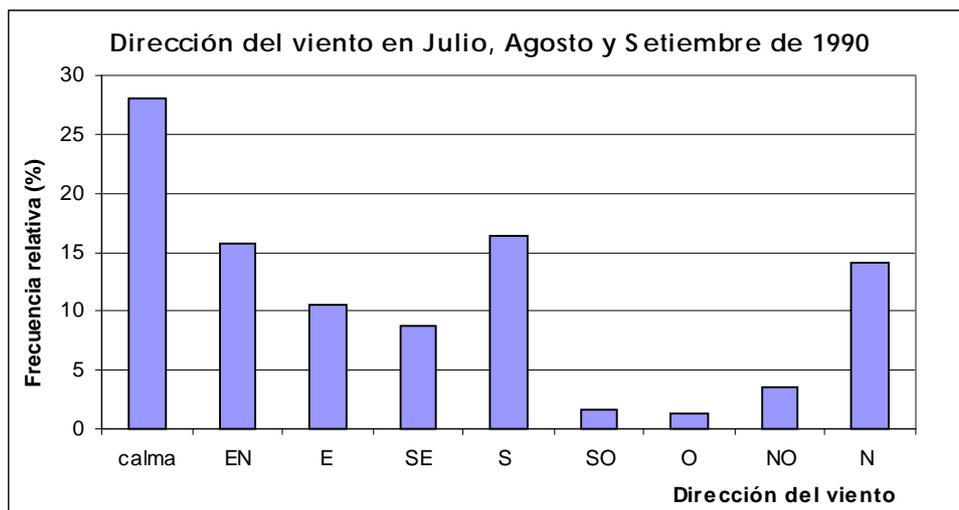
Nota: La distribución de temperaturas mostradas anteriormente no es la que se utilizó para realizar nuestro trabajo. A continuación se presentan los datos de temperatura proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional para la ciudad de Rosario. Los mismos son valores normales de temperatura máxima media mensual y temperatura mínima media mensual para el período comprendido entre 1961-1990. Las mismas se adjuntaron al archivo *montecarlo.dat* para realizar la simulación.



Estación	Mes	Probabilidad	Temperatura (°K)	
			Día	Noche
Verano	Enero	1	304	290
	Febrero	1	302.5	289.5
	Marzo	1	300.5	288
Otoño	Abril	1	297	286.5
	Mayo	1	293	281
	Junio	1	289	278
Invierno	Julio	1	289	278
	Agosto	1	291	279
	Septiembre	1	294	280.5
Primavera	Octubre	1	297	284
	Noviembre	1	299	286
	Diciembre	1	303	289

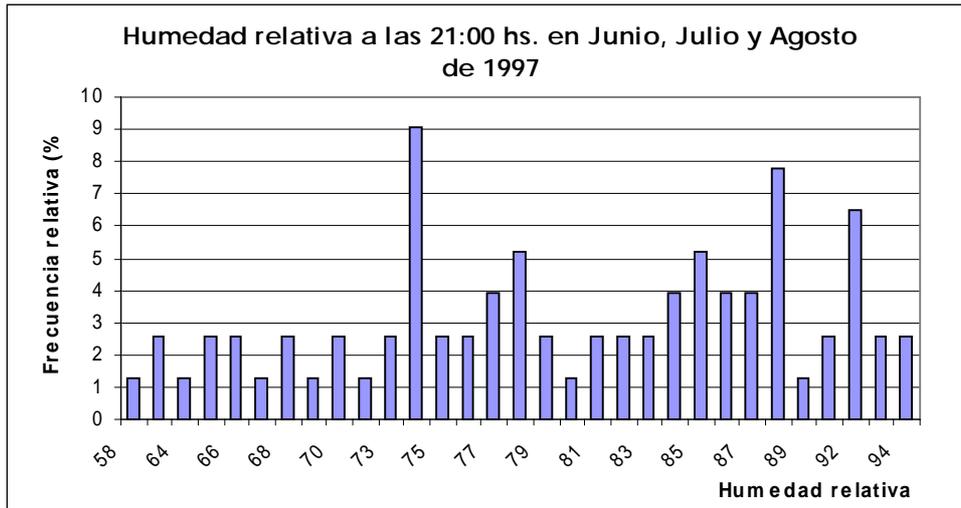
Dirección del viento en Junio, Agosto y Septiembre de 1990

Dirección	Dirección (°)	Frecuencia	Frec. Relativa %	RANDOM
calma	calma	103	28	0-27
EN	50	58	16	28-43
E	90	39	11	44-54
SE	140	32	9	55-63
S	180	60	16	64-79
SO	230	6	2	80-81
O	270	5	1	82
NO	320	13	4	83-86
N	360	52	14	87-99



Humedad relativa a las 21:00 hs. en Junio, Julio y Agosto de 1997

Humedad %	Frecuencia	Frec. relativa %	RANDOM
58	1	1	2
62	2	3	3 a 5
64	1	1	6
65	2	3	7 a 9
66	2	3	10 a 12
67	1	1	13
68	2	3	14 a 16
69	1	1	17
70	2	3	18 a 20
71	1	1	21
73	2	3	22 a 24
74	7	9	25 a 33
75	2	3	34 a 36
76	2	3	37 a 39
77	3	4	40 a 43
78	4	5	44 a 48
79	2	3	49 a 51
80	1	1	52
81	2	3	53 a 55
82	2	3	56 a 58
83	2	3	59 a 61
84	3	4	62 a 65
85	4	5	66 a 70
86	3	4	71 a 74
87	3	4	75 a 78
88	6	8	79 a 86
89	1	1	87
91	2	3	88 a 90
92	5	6	91 a 96
93	2	3	97 a 99
94	2	3	0 a 1



**DIFUSION DE LOS PRODUCTOS
DE COMBUSTION DEL PVC
(POLICLORURO DE VINILO)
EN LA ATMOSFERA
SOBRE LA CIUDAD DE ROSARIO**

ECUACIONES PROBIT

**ANEXO
6**

ECUACIONES PROBIT

1.1- Ecuación Probit de vulnerabilidad a las emisiones tóxicas.

Un método para estimar las respuestas del organismo a bajas concentraciones de contaminantes implica los siguientes pasos:

1) Relacionar el logaritmo de la variable causativa, $C^n t$, con una nueva variable, Y , a través de la siguiente expresión:

$$Y = a + b \ln(C^n t)$$

donde C representa la concentración de la sustancia (usualmente en ppm) y t el tiempo de exposición (usualmente en minutos). a y b son las constantes que definen la relación (constantes Probit).

2) Convertir la nueva variable Y a porcentaje de población afectada utilizando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$$

que establece una relación biunívoca entre la probabilidad P y unidades Y (Probit). El resultado de esta ecuación es la distribución Probit, de media 5 y varianza 1.

La metodología Probit se utiliza ampliamente porque la transformación de probabilidades a unidades Probit convierte la típica curva sigmoide de la distribución normal (acumulativa) de probabilidad en una línea recta.

Cuando se aplican expresiones Probit a la evaluación de vulnerabilidad frente a sustancias tóxicas la intensidad del factor causante ha de tener en cuenta tanto la concentración como el tiempo de exposición.

1.2- Valores de los parámetros de la función Probit para mortalidad ocasionada por distintas sustancias tóxicas.

Material	a	b	n
Acrolein	-9,93	2,05	1,00
Acrylonitrile	-7,81	1,00	1,30
Allyl Acohol	-4,22	1,00	1,00
Ammonia	-16,14	1,00	2,00
Azinphosmethyl	-1,94	1,00	1,00
Benzene	-109,78	5,30	2,00
Bromine	-10,50	1,00	2,00
Carbon Disulfide	-45,56	4,20	1,00
Carbon Monoxide	-7,25	1,00	1,00
Carbon Tetrachloride	-6,29	0,41	2,50
Chlorine	-13,22	1,00	2,30
Ethylene Oxide	-6,19	1,00	1,00
Hydrogen Chloride	-6,28	1,00	1,00
Hydrogen Cyanide	-9,68	1,00	1,00
Hydrogen Sulfide	-11,15	1,00	1,90

Methyl Bromide	-5,92	1,00	1,00
Methyl Isocianate	-0,34	1,00	0,70
Nitrogen Dioxide	-17,95	1,00	3,70
Parathion	-2,84	1,00	1,00
Phosgene	-27,20	5,10	1,00
Phosphamidon	-3,14	1,00	0,70
Phosphine	-2,25	1,00	1,00
Propylene Oxide	-7,42	0,51	2,00
Sulfur Dioxide	-18,22	1,00	2,40
Tetraethyl Lead	-1,50	1,00	1,00
Toluene	-6,79	0,41	2,50

$$Pr = a + b \ln(Z)$$

$Z = C^n t$: causative variable

C = concentration (ppm)

t = time (min)

2- Vulnerabilidad a los efectos térmicos

La radiación térmica procedente de un incendio puede causar efectos adversos tanto en personas como en instalaciones. De una manera directa, los sujetos expuestos pueden sufrir quemaduras de diverso grado, con resultado de muerte a partir de ciertos valores de intensidad de la radiación recibida y del tiempo de exposición.

Existe evidencia experimental que sitúa el umbral de dolor en el momento en que se alcanza una temperatura de 45°C a una profundidad de 0.1 mm bajo la superficie externa de la piel. A partir de aquí la formación de ampollas ocurre rápidamente, al llegar la temperatura a los 55°C. Las quemaduras aparecen rápidamente tras alcanzarse el umbral de dolor.

Las expresiones Probit para la predicción de mortalidad por causa de la radiación térmica recibida de incendios de líquido en charco e incendios flash utilizan un valor de la intensidad del factor causante, proporcional al producto del tiempo de exposición por la intensidad de la radiación recibida elevada al exponente 4/3.

$$Y = -14.9 + 2.56 \ln \left(10^{-4} I^{\frac{4}{3}} t \right)$$

Donde la intensidad de la radiación recibida, I , tiene unidades de W/m^2 y el tiempo de exposición t viene dado en segundos.

3- Vulnerabilidad a las exposiciones

Los modelos de vulnerabilidad permiten relacionar la magnitud física de los efectos producidos con el daño final causado a personas o instalaciones. A consecuencia de las explosiones, las personas pueden sufrir de forma directa diversos daños, que van desde la ruptura de tímpano a la muerte por hemorragia pulmonar o por proyección del cuerpo. Los daños indirectos incluyen heridas por fragmentos de cristal y proyectiles, así como muerte provocada por colapso de edificios y estructuras.

3.1 Daños debido a sobrepresión

La siguiente tabla muestra los niveles de daño que cabe esperar para distintos valores de sobrepresión.

Daños producidos por las explosiones en función de la sobretensión	
<i>Sobretensión (psi)</i>	<i>Tipo de daño</i>
0.03	Rotura ocasional de cristales grandes sometidos a tensiones.
0.04	Ruido fuerte. Rotura de cristales por la onda sonora.
0.1	Rotura de cristales pequeños sometidos a tensión
0.3	Límite de proyectiles. 95 % de probabilidad de no sufrir daños importantes. Daños menores a techos de casas. Rotura del 10% de los cristales.
0.5-1.0	Destrucción de ventanas, con daño a los marcos.
0.7	Daños estructurales menores en las casas.
1.0	Demolición parcial de casas que quedan inhabitables.
1-2	Fallo de paneles y mamparas de madera, aluminio, etc.
2	Colapso parcial de paredes y techos de casas.
2-3	Destrucción de paredes de cemento de 2 a 30 cm de grosor.
2.4	Umbral 1% de ruptura de tímpano.
2.5	Destrucción del 50% de la obra de ladrillo en edificaciones.
3-4	Ruptura de tanques de almacenamiento
5-7	Destrucción prácticamente completa de casas.
7	Vuelcan vagones de tren cargados.
7-8	Rotura de paredes de ladrillo de 20 a 30 cm de grosor.
10	Probable destrucción parcial de edificios. Máquinas pesadas (3.500 Kg) desplazadas y fuertemente dañadas.
12.2	90 % de probabilidad de ruptura de tímpano
14.5	Umbral (1 %) de muerte por hemorragia pulmonar.
25.5	90 % de probabilidad de muerte por hemorragia pulmonar.
280	Formación de cráter

Las ecuaciones Probit a utilizar en la evaluación de los efectos directos de una explosión son los siguientes: para mortalidad por hemorragia pulmonar.

$$Y = -77.1 + 6.91 \ln P^0$$

Donde P^0 es la sobrepresión (Pa). Análogamente, para ruptura del tímpano la ecuación correspondiente es

$$Y = -15.6 + 1.93 \ln P^0$$

Para estimar los efectos de los proyectiles generados en la explosión, así como los efectos debidos a la translación del cuerpo, la variable causativa a utilizar en las expresiones Probit es el impulso I_p (Ns/m^2), definido, como

$$I_p = \int_0^{t^+} P^0(t) dt$$

donde t^+ es la duración de la fase positiva.

Para heridas graves a causa de proyectiles, particularmente fragmentos de vidrio:

$$Y = -27.1 + 4.26 \text{Ln} I_p$$

La ecuación Probit para muerte por translación de todo el cuerpo es:

$$Y = -46.1 + 4.82 \text{Ln} I_p$$

Y la correspondiente a heridas graves es:

$$Y = -39.1 + 4.45 \text{Ln} I_p$$

Fuente: Prugh, R. W., Quantitative Evaluation of Inhalation Toxicity Hazards, Proceedings of the 29th Loss Prevention Symposium, American Institute of Chemical Engineers (July 31, 1995).