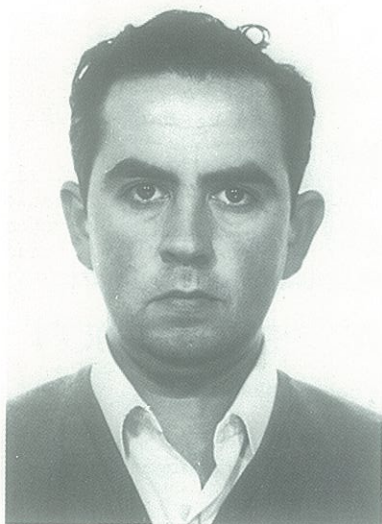


MODELOS GENERALES DE DISPERSION DE CONTAMINANTES EN LA ATMOSFERA

Pío CARMENA SERVERT



Pío CARMENA es Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid (1979), realizando estudios de posgrado en el campo nuclear y ambiental en ICAI y CEPADE. Desde 1980 ha desempeñado las funciones de Ingeniero de Protección Radiológica en el Departamento de Seguridad de Empresarios Agrupados, participando en estudios de impacto ambiental de las Centrales Nucleares de Almaraz, Trillo, Cofrentes y José Cabrera. Actualmente está integrado en el grupo de desarrollo de dicho Departamento.

Ha participado en conferencias nacionales e internacionales relacionadas con la Protección Radiológica, y pertenece al grupo de expertos de la IAEA.

La emisión de contaminantes a la atmósfera es un problema asociado a gran número de actividades humanas. Muchas de ellas son generadoras de fluidos gaseosos con características específicas muy distintas a las de la atmósfera que los rodea. Si estos fluidos son liberados a la atmósfera se produce entonces, inevitablemente, un fenómeno de transporte y mezclado, que tiende a homogeneizar las emisiones con el aire que las rodea, modificándose ligeramente las características del mismo, o incluso deteriorándose como consecuencia de dichas actividades.

La aplicación de modelos de dispersión atmosférica intenta combinar, de una manera analítica, las características de las emisiones con los fenómenos meteorológicos presentes en la atmósfera, con objeto de determinar las concentraciones u otras propiedades de los contaminantes en puntos definidos alrededor del foco de emisión, y así poder evaluar la aceptabilidad de las actividades generadoras de las emisiones.

PROCESOS FISICOS ASOCIADOS A LA DISPERSION

Para abordar la modelización de la dispersión atmosférica es necesario conocer los principales procesos físicos que la rigen. Estos son:

Evaluación de la descarga

Las distintas condiciones físicas (velocidad de salida, temperatura...) del gas en el momento de la emisión hace que se comporte de una manera distinta a la atmósfera hasta que se produce la homogeneización. Esto se traduce, en general, en una modificación de la elevación de la descarga por encima del punto de emisión antes de iniciarse un transporte horizontal a la cota de transporte.

Transporte

La aplicación del campo vectorial del viento a la emisión genera un movimiento, en general horizontal, que tiende a llevar al efluente a los puntos situados en la dirección del viento.

Difusión

Debido al movimiento turbulento de la atmósfera, se produce un mezclado progresivo del efluente con el aire que hace que, aún en ausencia de transporte, el volumen afectado sea cada vez mayor,

y las propiedades específicas cada vez más parecidas a las del aire.

Estos dos procesos unidos, transporte y difusión, se conocen con el nombre de DISPERSION propiamente dicha.

Desaparición y generación de productos

Dentro de este proceso se incluyen todas aquellas transformaciones físicas (decaimiento de productos radiactivos...) y químicas (reacciones neutralizadoras...) que hacen variar el inventario de los contaminantes independientemente de los fenómenos meteorológicos. Este proceso es específico de las características del efluente.

Deposición seca

El movimiento descendente de las partículas debido a la acción de la gravedad hace que disminuya el contenido de las mismas en el aire, aumentándose, sin embargo, la concentración superficial en el suelo. Este efecto es tanto más importante cuanto más pesadas sean dichas partículas.

Deposición húmeda

Los agentes atmosféricos, tales como lluvia, nieve..., producen un efecto de lavado de los efluentes en la atmósfera, disminuyendo su contenido en el aire y aumentando la concentración superficial en el suelo. Este efecto depende del tipo de agente, del diámetro de las gotas y de la capacidad de reacción del efluente.

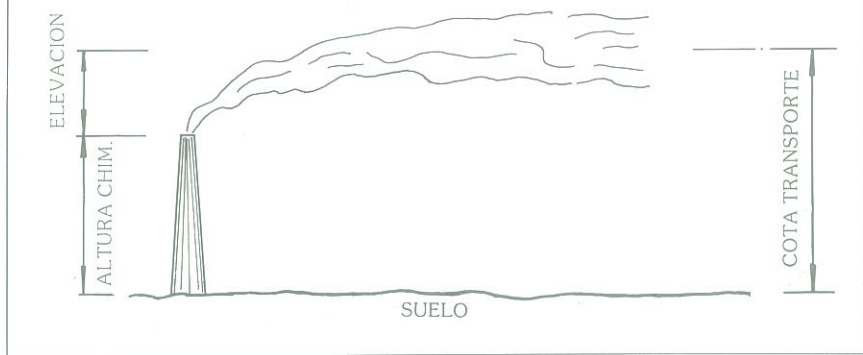
De estos dos procesos, es la deposición húmeda, cuando existe, la que produce reducciones más importantes del contenido de contaminante en la atmósfera.

Resuspensión

La existencia de condiciones meteorológicas particulares o determinadas actividades humanas pueden producir la resuspensión del contaminante depositado que es, de nuevo, sometido a los procesos de transporte, difusión, etc., pudiéndose llegar a establecer un equilibrio entre deposición seca y resuspensión. No obstante, este proceso no es muy significativo.

Otros procesos locales

Las condiciones específicas del entorno del punto de emisión pueden introducir procesos particulares que modifiquen la dispersión. Estos son tanto más importantes cuanto más estudiado, desde el punto de vista meteorológico, esté dicho entorno. No obstante, se dan condiciones especiales, como la existencia de masas



de agua, desiertos, valles cerrados..., cuyo efecto está más o menos estudiado para casos genéricos.

DESCRIPCION Y FORMULACION DE LOS PROCESOS

Elevación de la descarga

Considerando una emisión puntual (las emisiones superficiales se pueden reducir a una malla de emisiones puntuales) a una cota determinada, se trata de estudiar los fenómenos que pueden ocurrir a la emisión antes de alcanzar su cota de transporte.

La existencia de edificaciones cerca de puntos de emisión elevados causan distorsiones locales del campo de viento, generando modificaciones de la altura de emisión, cuyo estudio es particular. Para evitar este efecto se considera suficiente duplicar la altura de emisión y medir por encima de la altura de los elementos distorsionadores.

Otra estructura distorsionadora es la propia chimenea. Para evitar su efecto se ha de dar a la descarga unas condiciones físicas, de manera que la cota de transporte esté por encima de la cota de emisión. Esto se consigue, en general, aumentando la velocidad de descarga, pudiéndose determinar el incremento de altura en función del diámetro de la chimenea, la velocidad y temperatura de descarga y la velocidad del viento (Fig. 1).

Con todo ello se consigue situar al efluente a una determinada cota, desde donde empiezan a actuar los procesos de transporte y difusión.

Dispersión

Como en todos los estudios de dispersión, la modelización de los procesos de transporte y difusión se puede abordar siguiendo diversas aproximaciones: métodos estadísticos, análisis dimensional o teoría de balances. De estas tres aproximaciones, la única que, por la complejidad del problema, permite realizar formulaciones generales con hipótesis sim-

plificadoras es la tercera aproximación, que en general plantea la ecuación:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial q}{\partial z} \right) \quad (1)$$

siendo q una propiedad específica determinada del aire. La resolución de esta ecuación no es posible en un caso general, por lo que se pueden realizar hipótesis adicionales, de las cuales la más aceptada es que la difusión de la propiedad en el espacio sigue una ley gaussiana. Esta ley está caracterizada por unos valores de σ que son función de las condiciones meteorológicas, y que indican la mayor o menor difusión del efluente.

De esta manera la solución de la ecuación de balance resuelta para un caso de difusión únicamente:

$$X(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \times \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right) \quad (2)$$

Siendo:

- $X(x, y, z, t)$: Valor de la propiedad del aire en el punto x, y, z , en el instante t .
- σ_i : Coeficiente de dispersión en la dirección i en el instante t .
- Q : Total de propiedad a difundir asociada a una descarga instantánea.

Suponiendo el transporte, por ejemplo, a lo largo del eje X y manteniendo el origen de coordenadas en el punto de emisión, la ecuación se modifica a:

$$X(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \times \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{X - V(t - t_0)}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right)$$

$$\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \quad (3)$$

siendo t_0 el instante de emisión.

Suponiendo una descarga continuada, el valor de X será la suma de los valores de cada descarga instantánea en la que se puede dividir la descarga continua. Así pues, integrando la ecuación (3) en el tiempo se obtendrá, para un punto (x, y, z) , el valor de la propiedad del aire. Esta integración se puede realizar analíticamente en el caso de condiciones meteorológicas constantes, es decir, el campo vectorial de vientos y las características de la difusión (σ_i) no varían en el tiempo (difusión a largo plazo), o numéricamente, en el caso de condiciones meteorológicas variables (difusión a corto plazo).

Difusión a largo plazo

Tradicionalmente se suele emplear esta aproximación para resolver todos los problemas de difusión. Consiste en suponer condiciones meteorológicas constantes para determinar valores unitarios de la propiedad en los puntos de cálculo, suponiendo una emisión continua y constante. Esta viene dada por:

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot V} \times \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right)$$

No obstante, para el estudio de difusiones a corto plazo, o con condiciones meteorológicas variables, esta aproximación no es buena, ya que ignora el tiempo de viaje, el cambio de dirección del transporte del efluente por cambio del campo de vientos y la discontinuidad en la emisión, que se tratan haciendo hipótesis adicionales.

Difusión a corto plazo

Esta aproximación es más costosa, en cuanto a cálculo, ya que no resuelve la integración de una manera analítica, sino específicamente caso a caso por métodos numéricos. Consiste en discretizar la emisión en descargas instantáneas, a cada una de las cuales se le aplica el campo vectorial de viento, variable con el tiempo, acumulando el efecto de cada una de ellas, función de su intensidad y posición, en los puntos de cálculo.

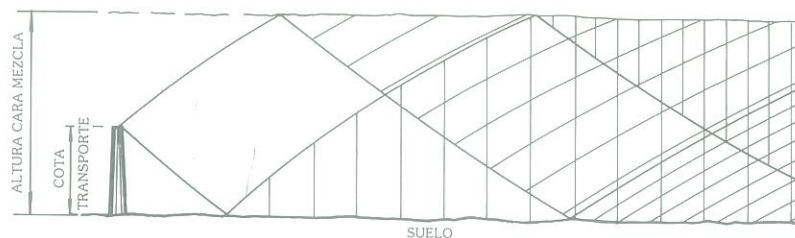
Este método se debería emplear para difusiones a corto plazo, condiciones meteorológicas variables o emisiones discontinuas, tendiendo, para tiempos largos (4-6 horas) y aproximaciones estadísticas de las condiciones, al modelo de difusión a largo plazo.

Limitaciones a la difusión

La aproximación gaussiana de la difusión no impone fronteras al alcance de los contaminantes. Sin embargo, existe una limitación inferior constituida por la

F II

EFFECTO DE LIMITACION A LA DIFUSION



corteza terrestre, y una superior constituida por la «capa de mezcla» de la atmósfera. Esto produce un efecto de reconcentración de los contaminantes, que puede llegar a ser de gran importancia, y cuyo efecto se ilustra en la figura 2. Asimismo, las ecuaciones de difusión quedan modificadas, resultando una serie de infinitos términos exponenciales que, por ejemplo, para difusión a largo plazo resulta:

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot V} \times \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \times \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H-Z}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H+Z}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{2L-H-Z}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{2L-H-Z}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{2L-H-Z}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \dots \right\}$$

siendo H la altura de transporte y L la altura de la capa de mezcla. Como se observa, para valores elevados de H y L los términos significativos de la serie resultan los primeros.

Coefficientes de dispersión

Los coeficientes de dispersión son los parámetros fundamentales para modelizar la difusión del efluente en función de las condiciones atmosféricas. Representan una medida del movimiento relativo de las partículas en el aire, aumentando con la distancia desde el punto de emisión. Si bien la relación de los valores de estas variables con los parámetros meteorológicos se debería establecer de una manera específica para cada punto o área de emisión (bosque, desierto, construcciones, lagos...), existen unos métodos teóricos para establecer esta relación. Una categorización de estos métodos se indica en la tabla 1.

Estos métodos relacionan las medidas tomadas de la atmósfera con la estabilidad de la misma, habiéndose determinado, de una manera experimental y para

calculados de los coeficientes de dispersión. Los valores bajos de viento (calmas), el tratamiento de fuentes volumétricas o la existencia de edificaciones u obstáculos cercanos al punto de emisión, hacen que se exija un tratamiento especial para determinar los σ a distancias cercanas a la emisión.

Desaparición y generación de productos

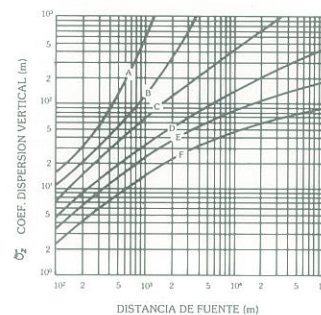
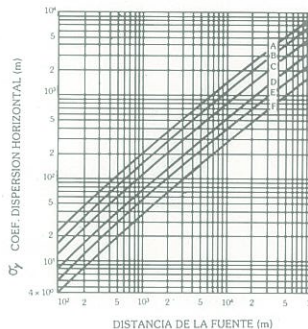
Este proceso afecta al contenido de la

TI

MÉTODOS PARA LA EVALUACION DE σ_H Y σ_V

Método	Medidas	Instrumento	Fiabilidad método	Clasificación clases	Parámetros dispersión
1. Métodos tipo Pasquill-Gifford	- Velocidad de viento a 10 m. - Estimación cualitativa de insolación o nubosidad. - Radiación Solar y Neta.	Anemómetro Heliómetro Radiómetro (estaciones cercanas).	Clasificaciones aproximadas, especialmente en clases estables.	A - F	Descargas bajas, terreno suave. Descargas superficiales, terreno plano.
2. Métodos de incremento de temperatura	Incremento de temperatura entre dos niveles de la atmósfera.	Termómetros.	Bueno para condiciones estables, no para inestables.	A - F	Descargas superficiales, terreno plano.
3. Métodos de fluctuación del viento.	Descripción de fluctuaciones en la dirección o nubosidad, verticales (σ_θ) y laterales (σ_ϕ).	Biveleta.	No fiable con vientos suaves y condiciones estables. Relación directa con	$\sigma = A \times \sigma_\theta \times \sigma_\phi$	Descargas elevadas, terreno suave.
4. Método de la desviación.	Variación unitaria de temperatura con la altura y	Termómetro Voleta.	Estimaciones mejores que 2 y 3.	A - F	
5. Variación de la temperatura y velocidad de viento.	- Incremento de temperatura entre dos niveles. - Velocidad de viento. - Número de Bulk-Richardson modificado.	Termómetro Anemómetro	Estimaciones mayores que 2.	R_B	$\sigma_y = f(R_B, h, \dots)$ $\sigma_z = f(R_B, h, \dots)$

RELACIONES DE MEDIDAS DE ESTABILIDAD - CLASES DE ESTABILIDAD Y COEFICIENTES DE DISPERSION



ASIGNACION DE CLASES DE ESTABILIDAD

A = Extremadamente inestable.	D = Neutro.
B = Moderadamente inestable.	E = Poco estable.
C = Poco inestable.	F = Moderadamente estable.

$\Delta T/\Delta Z$	< 1.9	-1.9 a -1.7	-1.7 a -1.5	-1.5 a 0.5	-0.5 a 1.5	> 1.5
CLASE	A	B	C	D	E	F

F III

distintos tipos de zonas, la relación entre esta estabilidad y los valores de los coeficientes de dispersión σ , en función de la distancia recorrida. Un ejemplo de una de estas metodologías se indica en la figura 3.

Existen también otros fenómenos especiales que modifican los valores así propiedad a difundir asociada a la descarga, independientemente de la meteorología. Suele regirse por ecuaciones de tipo exponencial, resultantes de las ecua-

ciones de balance que se plantean. En el caso de radiactividad, por ejemplo, el factor a aplicar para determinar el contenido de radioactividad al cabo de un tiempo t , donde la emisión viene dada por:

$$F = \exp(-\lambda \cdot t)$$

siendo la constante de semidesintegración. A su vez, en este caso, también hay que tener en cuenta la generación de radionúclidos hijo a partir de la desintegración de los padres.

Deposición seca

La deposición seca es un proceso de eliminación de masa de la nube que depende de la naturaleza del efluente y el tipo de terreno donde se disperse. En general se suelen utilizar dos aproximaciones al problema. Una está basada en la definición de la velocidad de deposición, que se define como:

$$V_g = \frac{\text{Tasa de deposición}}{\text{Concentración en aire cerca superficie}}$$

pudiendo introducirse en los balances del contenido en el aire de la propiedad del efluente que se estudie.

Otra aproximación es evaluar la fracción que permanece en la nube, en función de la estabilidad, la altura de emisión y la distancia recorrida, para distintas clases de terreno, a partir de medidas experimentales. Este factor se utiliza así para determinar tanto lo que permanece en el aire como lo que se deposita en el suelo.

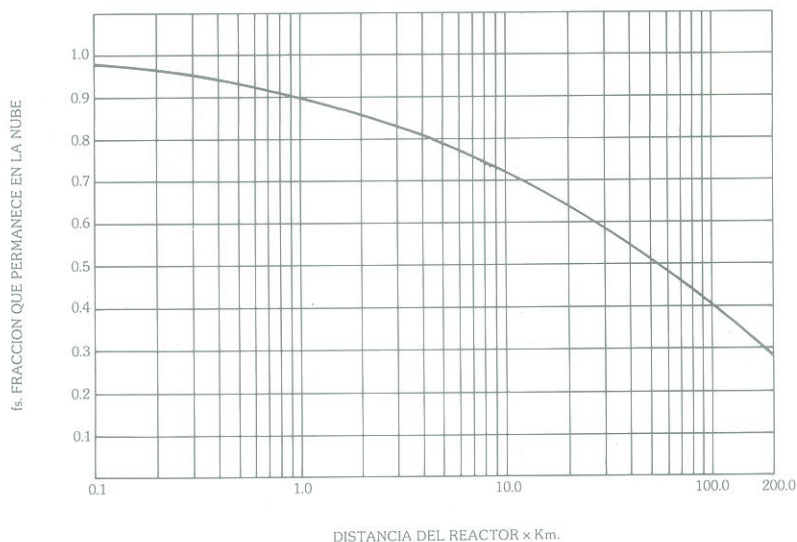
En la tabla 2 y figura 4 se indican ejemplos de estos valores que se utilizan para la deposición de radionúclidos emitidos por instalaciones nucleares.

Deposición húmeda

Las precipitaciones atmosféricas (lluvia, nieve...) afectan a la dispersión de efluentes reduciendo, por lavado, la masa de la nube considerablemente, dependiendo de la naturaleza físico-química del efluente (radio medio de partículas y densidad) y de la tasa de precipitación. Existen relaciones estudiadas entre estos valores y magnitudes

EFFECTO DE EMPOBRECIMIENTO DE LA NUBE PARA LIBERACIONES SUPERFICIALES Y TODAS LAS SITUACIONES DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA

F IV



que determinan a través de relaciones conocidas el coeficiente de lavado Λ ; para considerar su influencia se introduce un factor de corrección de la forma:

$$f = \exp\left(-\frac{\Lambda}{U} X\right)$$

que ha de considerarse para el cálculo de concentraciones superficiales originadas por esta deposición; así como también el lavado por escorrentía que se genera por lluvia.

Resuspensión

La resuspensión de contaminantes se puede modelar de manera análoga a la deposición seca, definiendo una velocidad de resuspensión como:

$$V_s = \frac{\text{Concentración en aire cerca superficie}}{\text{Concentración superficial en suelo}}$$

La determinación de esta velocidad es un problema muy complejo y específico y normalmente no se considera. Sólo cuando este fenómeno sea especialmente significativo se tendrá en cuenta.

Una vez conocida la manera de formular los procesos más significativos asociados a la dispersión de los efluentes en la atmósfera, éstos se pueden combinar creando modelos para reproducir las condiciones de dispersión en cada caso particular, a partir de unas condiciones meteorológicas dadas. La manera de definir esas condiciones depende del objetivo del cálculo y comprende dos partes: medición de los datos y manipulación de los mismos para definir situaciones representativas.

DATOS A SUMINISTRAR A LOS MODELOS DE DISPERSION

Datos referidos a la emisión

Los datos que caracterizan la emisión son muy variables, en función del tipo de estudio que se quiere realizar, si bien se pueden dividir en dos grupos: datos característicos de la materia emitida y de cantidad de materia emitida.

Dentro del primer grupo se pueden citar el tamaño medio de las partículas, la altura a la que se realiza, la velocidad y temperatura de salida, la composición química... Dentro del segundo grupo se suele suponer proporcionalidad con respecto a dicho parámetro, realizándose los estudios por unidad de masa, de radioactividad, etc., emitida por segundo, bastando con multiplicar los resultados de los valores unitarios en los puntos de interés así calculados por el número de unidades emitidas por segundo, para obtener los valores asociados a una emisión determinada. Este valor, correspondiente a emisión unitaria, se denomina coeficiente de difusión atmosférica (χ/Q).

T II

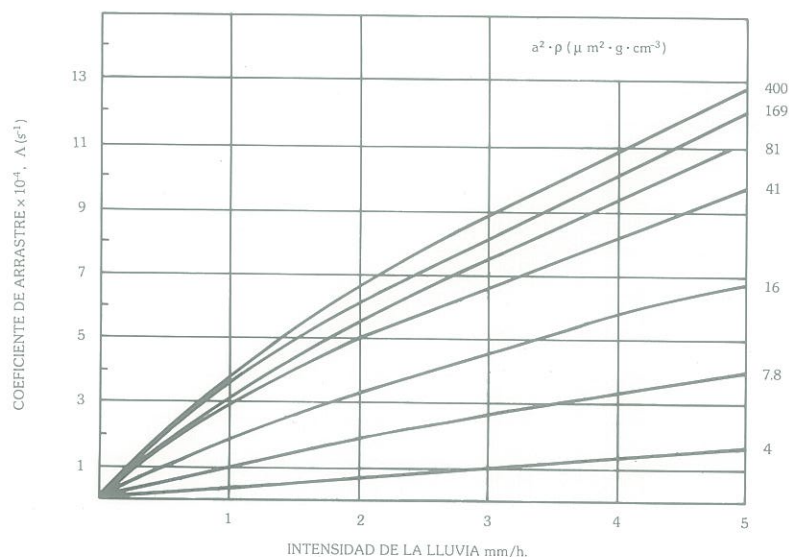
COEFICIENTES DE DEPOSITOS TEORICOS

DEPOSICION HUMEDA: Constante de proporcionalidad de lavado [$h \text{ (mm.s)}^{-1}$]

PARTICULAS:	1.6×10^{-4}
IODOS ELEMENTALES:	1.1×10^{-4}
COMPUESTOS ORGANICOS:	10^{-4}

DEPOSICION SECA: Velocidad de deposición V_g (m/s)

PARTICULAS (4 mm):	0.002
IODOS ELEMENTALES:	0.04
COMPUESTOS ORGANICOS:	0.0002



Datos meteorológicos

Para el estudio de los fenómenos de dispersión de los contaminantes, los datos necesarios dependen del modelo específico a emplear, pero, en general, para aquellos que normalmente se aplican, son necesarios los siguientes datos:

- Temperatura del aire.
- Vector viento (módulo, dirección y sentido).
- Altura de la capa de mezcla.
- Precipitación.
- Humedad.
- Indicador de estabilidad (diferencia de temperatura a distintas cotas o radiación solar y grado de nubosidad).

Los cálculos se pueden realizar a partir de medidas instantáneas, medidas medias asociadas a un intervalo de tiempo o medidas representativas de un período más o menos prolongado. Ello exige no sólo una instrumentación adecuada, sino un sistema de tratamiento de los datos medidos para obtener valores derivados.

Manipulación de los datos

Existen dos sistemáticas de manipulación de datos. Una para determinar valores medios a partir de medidas instantáneas extendidas a intervalos de 15, 30 minutos, etc., y otra para obtener valores característicos a partir de un conjunto de estas medidas medias (por ejemplo, todos los valores anuales).

La primera se utiliza para la realización de cálculos simultáneos a la emisión (descargas accidentales), donde se intenta reflejar la meteorología real del momento (modelos de difusión a corto plazo), y para archivar los datos de una manera resumida y racional como entrada al segundo tipo de manipulación. Se realiza con un integrador acoplado directamente a la instrumentación y que archiva los datos medios en un soporte de fácil lectura.

La segunda exige una clasificación y análisis de los datos recogidos, que se hace con dos tipos de criterios. Para liberaciones rutinarias, a largo plazo, se reducen a unas tablas de frecuencias de aparición de valores de un intervalo de viento, una dirección y un tipo de estabilidad. A partir de éstas se calculan, para cada punto de interés, los valores del coeficiente de difusión para cada combinación de datos que aparecen, siendo el valor representativo de un punto la media ponderada de los coeficientes de difusión, utilizando como peso las frecuencias.

Para evaluar liberaciones a corto plazo es necesario introducir algún criterio de selección de valores, aplicándose normalmente medidas conservadoras, ya que estos coeficientes se utilizan para el diseño de chimeneas, evaluación de descargas admisibles... Por ejemplo, se puede utilizar el método de la «media móvil», que para un punto de interés dado, P, y una duración de descarga a evaluar de n horas, se calcula los valores de coeficiente de difusión horario para todo el período de cálculo (por ejemplo, un año). A partir de estos valores se determina la media para las horas de 1 a n, de 2 a n+1, etc., obteniendo una distribución estadística de valores sobre la que se trabaja con medias, medianas, percentiles, etc., según las hipótesis que se realicen.

Otra aproximación es estudiar las persistencias del viento en la dirección hacia el punto P, determinando valores medios para cada una y eligiendo uno aplicando criterios estadísticos.

Quizá la metodología más utilizada es el sistema probabilístico, que consiste en ordenar los valores horarios del coeficiente de difusión de mayor a menor, asignándoles unas frecuencias acumulativas-número de horas en que el valor es superado. Con esta distribución se selecciona el coeficiente representativo,

con la condición de que sea excedido por un 50 % de los valores, por un 5 % de los valores, etc., según la hipótesis que se quiera realizar. Este coeficiente es representativo de descargas de 1-2 horas de duración. Para descargas de más duración se interpola entre este valor para 1 hora y el valor anual, calculado para emisión continua, que se asigna a 8.760 horas.

Evaluación de resultados

Siguiendo la metodología propuesta en los puntos anteriores, respecto a la recogida de datos, su manipulación y su transformación, y siempre que éstos sean suficientemente representativos, se puede llegar a conocer el comportamiento de una zona para la difusión de contaminantes gaseosos, y a predecir la evaluación de una descarga concreta que se quiera controlar por su toxicidad, radiactividad... Además, como se ha visto en la descripción de los procesos de difusión y sus factores modificantes, el estudio concreto de la zona: topografía, vegetación, etc., puede hacer que los resultados obtenidos sean más fiables, ya que éstos pueden influir muy significativamente en las propiedades que se quieren estudiar.

Sin embargo, todo modelo meteorológico concreto, aplicado a un punto y tipo de emisión para una zona de estudio, debería comprobarse y ajustarse mediante datos experimentales, bien por la realización de experiencias específicas, o bien por el control «a posteriori» de las descargas que se realicen mediante un programa de medidas ambientales, que realmente, junto con las nuevas medidas de datos meteorológicos, al modelo planteado.

REFERENCIAS

1. Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents - EPA - 520/1-75-001. Febrero 1980.
2. Estimación de Dosis Radiológicas en Emergencias Nucleares - SR/026/83. Noviembre 1983.
3. Meteorology and Atomic Energy 1968 - Davis H. Slade. Julio 1968.
4. Mesodif-II; A variable trajectory plume segment model to assess groundlevel air concentrations and deposition of effluent release from Nuclear Power facilities - NUREG/CR-0523. Marzo 1979.
5. Pavan: An atmospheric dispersion program for evaluating design basis accidental releases of radioactive materials from Nuclear Power Stations - NUREG/CR-2858. Noviembre 1982.
6. Atmospheric dispersion models for potential accident consequence assessments at Nuclear Power Plants - R. Guide 1.145. Noviembre 1982.
7. Dispersion coefficients for coastal regions - NUREG/CR-3149. Marzo 1983.
8. Assumptions used for evaluatory the potential radiological consequences of a loss of coolant accident for pressurized water reactor - R. Guide 1.4.
9. Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting. Safety Series No. 50-SG-S3. IAEA 1980.