



LIBRO BLANCO SOBRE EMISIONES DIFUSAS DE MATERIAL PARTICULADO: CUANTIFICACIÓN, CONTROL Y MINIMIZACIÓN

E. Monfort; A. López-Lilao; V. Sanfelix; A. Escrig; I. Celades;
E. Mantilla; X. Querol

Versión 2. Mayo 2014

Proyecto financiado por el Plan Nacional de I+D+i 2008-2011
Acrónimo: DIFUCER
Referencia: CGL2009-14680-C02-01

PRÓLOGO

A partir de la experiencia previa del ITC en materia de emisiones difusas de material particulado y la adquirida durante el desarrollo del proyecto “*Cuantificación y caracterización de las emisiones difusas en la gestión y transporte de materiales pulverulentos*” se ha desarrollado un procedimiento que describe la manera de abordar la obtención de factores de emisión y las metodologías que podrían ser empleadas de forma conjunta o independiente para el control de dichas emisiones. Con ello se pretende cubrir un importante hueco actual, que es precisamente disponer de metodologías adecuadas de cuantificación y control de las emisiones difusas de partículas en entornos industriales, principalmente en actividades que lleven asociadas un almacenamiento, manipulación y transporte de materiales pulverulentos. Finalmente, en el presente documento se recopilan las medidas correctoras propuestas en los documentos BREFs (Best Available Techniques Reference Documents) para la reducción de emisiones difusas de material particulado en operaciones de manipulación y almacenamiento de materias primas.

El presente documento está destinado fundamentalmente a su uso por los gestores ambientales de empresas, de las diferentes administraciones, e ingenierías que desarrollen proyectos para actividades que impliquen la manipulación y/o gestión de materiales pulverulentos, sin menoscabo de su uso para fines académicos o de investigación. Esta guía pretende ofrecer una metodología sistemática y recomendaciones para abordar de forma efectiva el problema del tratamiento de las emisiones difusas de material particulado, así como dar un nuevo enfoque a esta problemática, pasando del tratamiento clásico que se ha basado en propuestas cualitativas, a un tratamiento más riguroso con métodos de cuantificación de estas emisiones. Este nuevo enfoque, a pesar de las relativamente elevadas incertidumbres asociadas a estos métodos, se considera de gran utilidad para poder seleccionar las mejores medidas correctoras, mejorar los inventarios de emisiones de material particulado, reducir emisiones y en definitiva mejorar la calidad del aire en entornos industriales.

Dado que las metodologías propuestas y especialmente los factores de emisión asociados a operaciones, normativas aplicables, etc. están en constante revisión, obviamente el documento requerirá de actualizaciones sucesivas. En este sentido los autores desean que este documento esté abierto a sugerencias o modificaciones que puedan mejorar su contenido o comprensión, para ello pueden dirigir sus comentarios al ITC (emonfort@itc.uji.es), para realizar entre todos, autores y usuarios, una mejora continua del mismo.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
2	METODOLOGÍAS EXPERIMENTALES PARA LA OBTENCIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN	9
2.1	Objeto	9
2.2	Alcance	9
2.3	Metodologías.....	9
2.3.1	Roof Monitor.....	9
2.3.2	Modelos de dispersión.....	10
3	METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE LAS EMISIONES DIFUSAS DE MATERIAL PARTICULADO	14
3.1	Objeto	14
3.2	Alcance	14
3.3	Metodologías.....	14
3.3.1	Metodología analítica.....	14
3.3.2	Metodología experimental para el control de emisiones difusas de PM ...	19
4	PRINCIPALES MEDIDAS CORRECTORAS	23
4.1	Objeto	23
4.2	Alcance	23
4.3	Medidas correctoras por operaciones.....	23
4.3.1	Descripción de las medidas.....	23
4.3.2	Rendimientos de las medidas por operaciones.....	26
4.4	Medidas correctoras globales.....	26
4.4.1	Descripción general.....	27
4.4.2	Rendimiento global.....	27
5	REFERENCIAS DE INTERÉS	30
5.1	Webgrafía de interés	30
5.2	Referencias bibliográficas	31

BLOQUE 1: INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

Las problemática ambiental de las emisiones difusas de material particulado atmosférico (en adelante PM) viene asociada mayoritariamente a actividades relacionadas con la gestión de materiales de naturaleza pulverulenta. Estas actividades se localizan principalmente en entornos industriales relacionados con extracción de minerales a cielo abierto, acondicionamiento de materiales minerales para su posterior uso (lavado de caolines, plantas de áridos, entre otros) y todas aquellas actividades que consisten en la elaboración de productos o materiales que utilizan como materias primas minerales o materiales pulverulentos a granel, tales como: cerámica, fabricantes de cal, acerías y cementeras. No hay que perder de vista que dentro de las actividades de gestión hay una práctica común a todas ellas como es el transporte de estos materiales mediante camiones, en la que debe considerarse tanto el transporte externo (por vías públicas) como interno (dentro de las instalaciones industriales o mineras).

Como consecuencia de que las emisiones difusas son vertidas a la atmósfera principalmente desde un área o volumen, y no a través de una conducción como es el caso de las emisiones canalizadas, no es posible aplicar los métodos de control para este tipo de emisiones, basados en la extracción de una muestra representativa e integrada de un volumen conocido de esta corriente, para cuantificar las emisiones difusas de PM.

Por tanto, las principales dificultades que se plantean en el control de las emisiones difusas son la cuantificación de las mismas y la evaluación de la efectividad de las medidas correctoras implantadas, debido a la dificultad intrínseca que conlleva su medida en instalaciones complejas, con muchas actividades potencialmente generadoras de emisiones difusas y ubicadas en zonas de elevada concentración industrial.

Esta situación provoca que no exista una metodología experimental sencilla para la cuantificación de las emisiones difusas, siendo el método más simple para su cuantificación el uso de factores de emisión teóricos o de ecuaciones semiempíricas que requieren el conocimiento de algunos datos experimentales. El uso de este tipo de factores, conlleva en ocasiones el establecimiento de escenarios medioambientales basados en información estimada o en la aplicación de factores de emisión que no son representativos de una muestra determinada, que pueden dar lugar a enmascarar necesidades de actuación de mejora medioambiental o a establecer programas de acción basados en información que no representan la situación real de la zona de estudio considerada.

Otro problema asociado al estudio de este tipo de emisiones en inventarios o planes de calidad del aire es la correcta identificación en una zona determinada de todas las actividades generadoras de emisiones difusas, ya que existen pequeñas empresas o actividades, pero en gran número, que pueden emitir cantidades significativas, y cuantificar todas estas fuentes presenta una gran complejidad. Este hecho se refleja en los inventarios de emisiones que se realizan para modelizar la calidad de aire a nivel local, regional y nacional, ya que se observa una subestimación de los niveles obtenidos al no disponer de información real de las fuentes emisoras, y basarse normalmente en los datos de emisiones canalizadas.

Resolver este tipo de discrepancias entre las cantidades estimadas de emisiones difusas de PM y las realmente emitidas es de vital importancia para el diseño, aplicación y evaluación de medidas de control para la disminución del impacto en la calidad del aire asociado a las emisiones difusas de PM.

El desarrollo de una metodología experimental para la medida y el cálculo de las emisiones difusas permitiría establecer factores de emisión reales, y por tanto, poder

cuantificar con mayor grado de detalle las emisiones difusas, lo que permitirá determinar el impacto ambiental de este tipo de emisiones sobre los niveles de calidad de aire, así como estimar el rendimiento de mejora alcanzado mediante la implantación de las Mejores Tecnologías Disponibles (en adelante MTDs) a escala local, regional y nacional.

Los métodos para la determinación de emisiones difusas se pueden clasificar en dos grupos: los que se basan en la medida directa de concentraciones y los que se fundamentan en la determinación del flujo másico de PM. Estos últimos a su vez se dividen en dos grupos, métodos analíticos basados en el uso de factores de emisión o ecuaciones semiempíricas y métodos experimentales. En la Tabla 1 se detallan las ventajas, desventajas y aplicabilidad de cada uno de estos métodos.

Tabla 1: Metodología para la estimación de emisiones difusas de PM.

Métodos		Ventajas	Desventajas	Aplicación	
Flujo másico	Experimentales	Modelos de dispersión	Se basa en datos experimentales de la instalación. Al usar modelos permite simular distintas situaciones	Tratamiento matemático complejo	Obtención de factores de emisión que permitan realizar inventarios de emisiones más precisos (Escenarios complejos o no estudiados. Investigación)
		Roof Monitor	Se basa en los valores experimentales de la instalación, mayor precisión. Cálculo matemático sencillo	Sólo aplicable a recintos cerrados	
	Analíticos: Ecuaciones semiempíricas y factores de emisión		Muy útiles para estimar emisiones sobre proyectos. Requieren pocos parámetros experimentales.	Pueden presentar incertidumbres elevadas si los factores de emisión y/o ecuaciones semiempíricas no son representativos de las condiciones reales de la instalación	Inventarios de emisiones. Declaraciones anuales. Control de rendimientos
Concentraciones perimetrales de PM		Valores directos, no requiere cálculos. Sencillez en la interpretación	No cuantifica el flujo másico. Ubicación adecuada de los puntos de muestreo	Control de instalaciones	

En base a dichas premisas, se propone el siguiente procedimiento para el control de las emisiones difusas de PM (Figura 1):

1. Fase de proyecto o diseño.

1.1 Diseño de medidas correctoras. Se deben revisar los requisitos exigidos en la Autorización Ambiental Integrada (AAI) o en la Licencia ambiental y llevar a cabo la implantación de MTDs, tomando como base: i) las medidas propuestas en el BREF específico de la actividad a desarrollar; ii) medidas del BREFs sobre emisiones del almacenamiento de materiales; y, iii) las características de la propia instalación tales como proximidad a núcleo urbano, producción y meteorología. En esta fase también se recomienda la estimación de emisiones difusas de PM, en base a la aplicación de metodologías analíticas (factores de emisión o ecuaciones empíricas), con el fin de prever el impacto de la actividad y el rendimiento asociado a las medidas propuestas en la fase de proyecto. Esta estimación puede hacerse en escenarios con diferente grado de implantación de medidas correctoras, siendo esta metodología un instrumento muy útil para seleccionar las medidas correctoras más adecuadas, así como para establecer a priori el rendimiento y las emisiones esperadas.

1.2 Plan de implantación de medidas correctoras. De acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de diseño se realizará el plan de implantación de todas las medidas propuestas, aunque en esta fase pueden surgir problemas o condicionantes prácticos que obliguen a realizar ligeras modificaciones del proyecto, que deben evaluarse con las metodologías propuestas.

2. Fase de operación o gestión.

2.1 Control inicial. En la fase de operación, se propone un doble control inicial. Por una parte se recomienda determinar las concentraciones de PM en el perímetro de la empresa. Si no se cumplen los valores límite ambientales (VLA) deberá revisarse el correcto funcionamiento de las medidas implantadas y, en su caso, establecerse MTDs adicionales, principalmente en los focos de emisión más significativos, y repetir el proceso hasta que se cumplan los VLA. Además se recomienda realizar un inventario de emisiones difusas de PM, para evaluar el rendimiento global alcanzado y compararlo con el previsto en el proyecto, y en su caso, adoptar medidas adicionales.

2.2 Control periódico. Si se cumplen los VLA y el rendimiento global alcanzado en el control inicial, únicamente se propone realizar un plan de control periódico de la instalación utilizando las mismas metodologías, es decir, un control experimental de concentraciones perimetrales, junto con un inventario que puede utilizarse como declaración anual de emisiones difusas. Obviamente, si se detectan posibles desviaciones debe revisarse la gestión y/o diseño de las medidas correctoras implantadas.

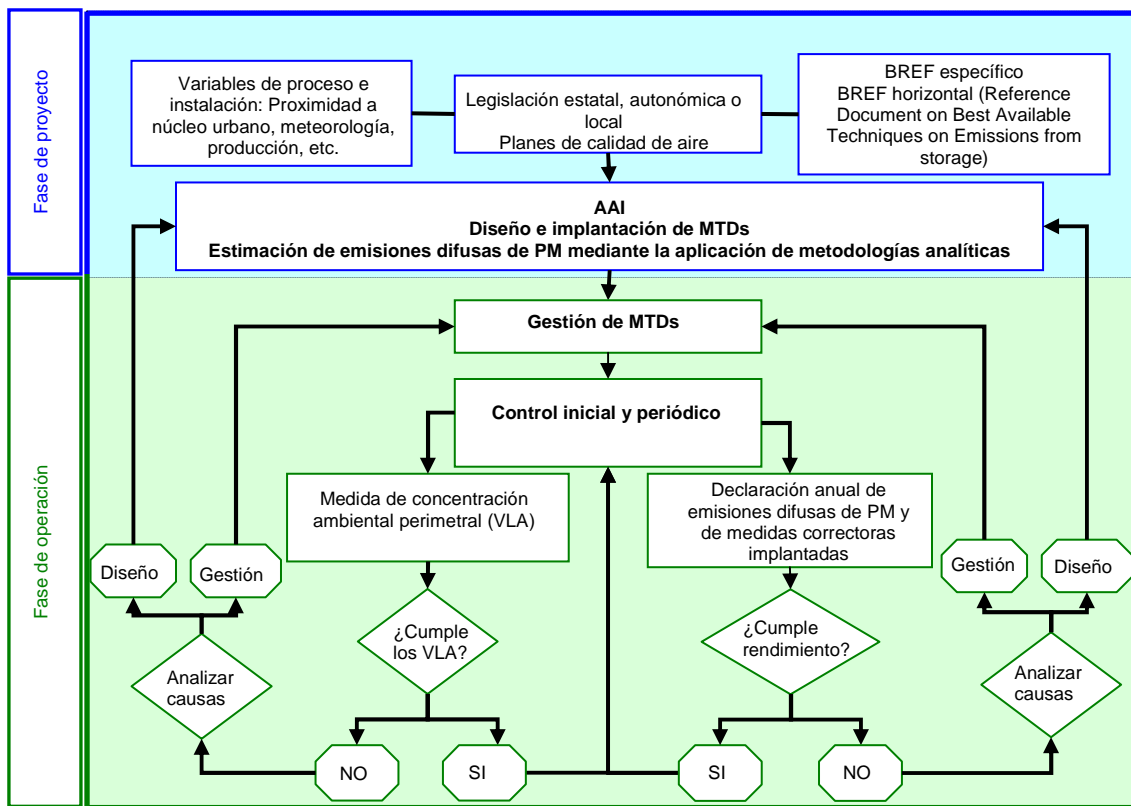


Figura 1: Procedimiento propuesto para el control de las emisiones difusas de PM.

**BLOQUE 2:
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL
PARA LA OBTENCIÓN DE
FACTORES DE EMISIÓN**

2 METODOLOGÍAS EXPERIMENTALES PARA LA OBTENCIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN

2.1 Objeto

El siguiente procedimiento tiene por objeto definir las pautas a seguir en la realización de campañas experimentales para la obtención de factores de emisión.

2.2 Alcance

Este procedimiento es aplicable a todas aquellas actividades industriales (cerámicas y afines) que generen emisiones de PM de carácter difuso.

2.3 Metodologías

Dentro de las metodologías experimentales se pueden distinguir dos grupos: las que se basan en estimar el flujo de materia en las principales aberturas de instalaciones cerradas (Roof Monitor) y los que se basan en modelos de dispersión aplicables en instalaciones abiertas o al aire libre

2.3.1 Roof Monitor

En el caso donde las actividades se desarrollan íntegramente en instalaciones completamente cerradas, para la estimación de las emisiones difusas se puede aplicar el método denominado en la bibliografía "Roof Monitor", basado en calcular el flujo de materia en las principales aberturas. Para aplicar este método, se mide la concentración y la velocidad del viento en cada una de las aberturas principales de la instalación susceptibles de generar emisiones difusas. La emisión total, será la suma de todas las emisiones individuales, en cada una de las aberturas.

Donde:

$$E = \sum_{i=1}^n v_i \cdot C_i \cdot A_i \cdot 10^{-6}$$

Siendo:

E: Emisión global de las n aberturas (g/s)

v_i : Velocidad media del viento en la abertura i (m/s)

C_i : Concentración de PM₁₀ en la abertura i (mg PM₁₀/m³)

A_i : Área de la abertura i (m²)

Desarrollo experimental

Para determinar la concentración de PM₁₀ en las aberturas, dado que éstas suelen ser de dimensiones relativamente grandes y no existe una circulación forzada de aire, normalmente no es posible realizar muestreos isocinéticos de partículas como si se tratase de conductos. Por esta razón, para la medida de la concentración se pueden utilizar captadores gravimétricos o monitores en continuo, utilizados habitualmente para el control de calidad de aire. No obstante, en aberturas pequeñas se podría utilizar una metodología similar a la habitual en emisiones canalizadas (sondas isocinéticas), aunque debe valorarse convenientemente caso por caso.

Por otro lado, con el fin de determinar la velocidad y dirección del viento en las principales aberturas de la instalación, se deben medir dichos parámetros con la ayuda de una estación meteorológica colocada "in situ" en cada una de estas aberturas.

Cabe comentar que con el fin de determinar los parámetros necesarios se emplearan, si es posible, tantas torres meteorológicas y equipos de muestreo como aberturas presente la instalación.

2.3.2 Modelos de dispersión

Tradicionalmente para la estimación de emisiones difusas de PM se han empleado diversos modelos de dispersión, incluyendo los modelos tradicionales Gaussianos y AERMOD (modelo desarrollado por la EPA) que en función de la actividad o proceso a caracterizar pueden presentar serias limitaciones.

Modelo desarrollado por ITC

En este sentido, el ITC en el marco del proyecto DIFUCER (CGL2009-14680-C02-01) del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 ha desarrollado un modelo de dispersión que se ajusta mejor que los modelos Gaussianos a las necesidades detectadas. De forma muy simplificada se puede destacar que el modelo desarrollado se basa en resolver numéricamente la ecuación fundamental de advección-difusión, e incorpora la teoría de Monin-Obukhov para la determinación del perfil vertical de velocidades y del coeficiente de difusión vertical. La dispersión horizontal se calcula en base a la interpretación de Eckman del teorema de Taylor (ver apartado de referencias sobre modelado de la dispersión de contaminantes atmosféricos). Este modelo involucra tiempos de cálculo muy superiores a los Gaussianos, aunque presenta ventajas muy significativas con respecto a ellos, ya que evita tener que adoptar gran parte de sus simplificaciones. Los detalles del modelo se detallarán en un artículo que está en preparación.

El modelo desarrollado ha sido validado mediante la realización de campañas experimentales y posterior comparación entre las concentraciones de PM calculadas y las determinadas por el modelo.

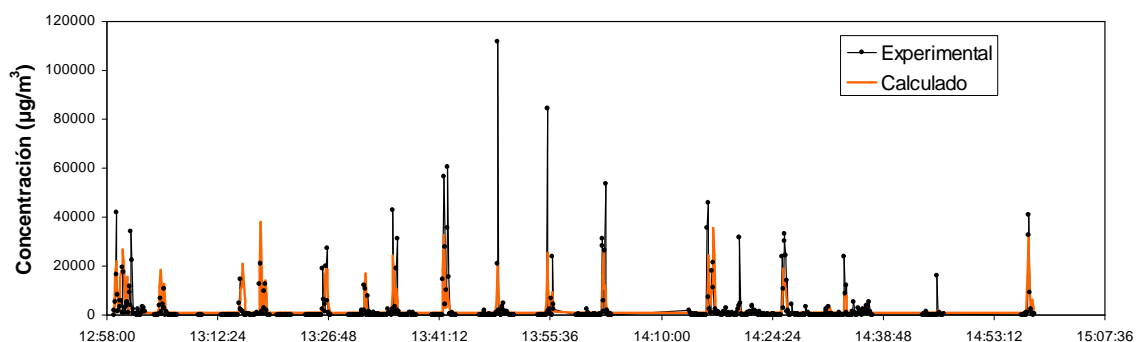


Figura 2. Evaluación del modelo de dispersión desarrollado.

Tal y como se puede apreciar en la Figura 2 el modelo desarrollado permite obtener muy buenos resultados. Además, cabe comentar que la realización de diversas campañas experimentales permitió incorporar los cambios y/o mejoras necesarias en la realización de las campañas experimentales para posibilitar la obtención de los datos requeridos por el modelo.

Protocolo para la realización de campañas experimentales

A continuación se describen brevemente el protocolo establecido para la obtención de los parámetros requeridos por el modelo.

Ubicación de los equipos de muestreo

Los muestreadores se colocaran en la dirección predominante del viento, para que capten la nube de polvo generada en la operación a caracterizar. La distancia idónea, respecto a la fuente, será aquella que posibilite asociar los picos de concentración a las emisiones generadas en la operación objeto de estudio.

Cabe comentar que se deben registrar las coordenadas de los muestreadores y de la fuente. Se recomienda emplear un GPS con precisión centimétrica.

Determinación de niveles de concentración de PM

Se deben registrar las concentraciones de PM en continuo y con una resolución temporal del orden de segundos (en el ITC se ha establecido 6 segundos). Se recomienda emplear al menos dos muestreadores de PM.

Determinación de variables meteorológicas

El modelo desarrollado distingue entre dispersión absoluta y dispersión relativa. La dispersión relativa está asociada a fluctuaciones de alta frecuencia en las componentes de la velocidad del viento. La dispersión absoluta puede asimilarse a cambios en la dirección del viento. Además, el perfil vertical de velocidad de viento no es plano (como se supone para la deducción de los modelos Gaussianos), sino que varía con la altura según predice la teoría de Monin-Obukhov.

Idealmente, sería necesario emplear dispositivos (anemómetros sónicos) para registrar las componentes de la velocidad del viento a alta frecuencia en diversas alturas sobre el nivel del suelo. En la práctica, es difícil realizar estos montajes experimentales, por lo que tiene que recurrirse a procedimientos simplificados.

En las campañas realizadas se midieron las componentes horizontales de la velocidad del viento a una frecuencia moderada (1 Hz) en una única altura. Únicamente con esta información no puede reconstruirse el perfil vertical de velocidades, por lo que tuvo que estimarse el flujo de calor sensible a nivel del suelo para poder realizar esta labor.

El flujo de calor sensible se estimó planteando un balance de energía sobre la superficie del suelo. Para ello, se determinó la radiación solar incidente y reflejada (para lo que se utilizó un albedómetro), la temperatura de la superficie (mediante el uso de un termopar) y el flujo de calor a través del suelo (utilizando un flujómetro). Con estos datos experimentales pueden determinarse los flujos radiativos de longitud de onda larga y corta, y el calor conducido a través del suelo. El flujo de calor sensible se obtuvo cuadrando el balance.

Registro de actividades

Con la finalidad de asociar los picos de concentración a la operación u operaciones a caracterizar se debe llevar a cabo un exhaustivo registro de las actividades llevadas a cabo. Se recomienda realizar una grabación en video de la experimentación, para poder llevar a cabo posteriores validaciones de los datos registrados.

Cabe comentar que se deben registrar también algunas actividades ajenas a la operación a caracterizar con la finalidad de considerar, en el posterior tratamiento de datos, si dichas incidencias tienen una influencia sobre los niveles de PM registrados.

Tabla 2: Ejemplo de registro de actividades.

Actividad	Hora inicio	Hora final	Descripción	Observaciones
Carga material (máquina pala)	10:00:00	10:00:12	La máquina pala carga material	-
Descarga material (máquina pala)	10:00:15	10:00:22	La máquina pala descarga material	Fuertes ráfagas de viento

Resumen de datos requeridos por el modelo

En base a todo lo descrito, en la Figura 3 se resumen los datos requeridos para la aplicación del modelo desarrollado.

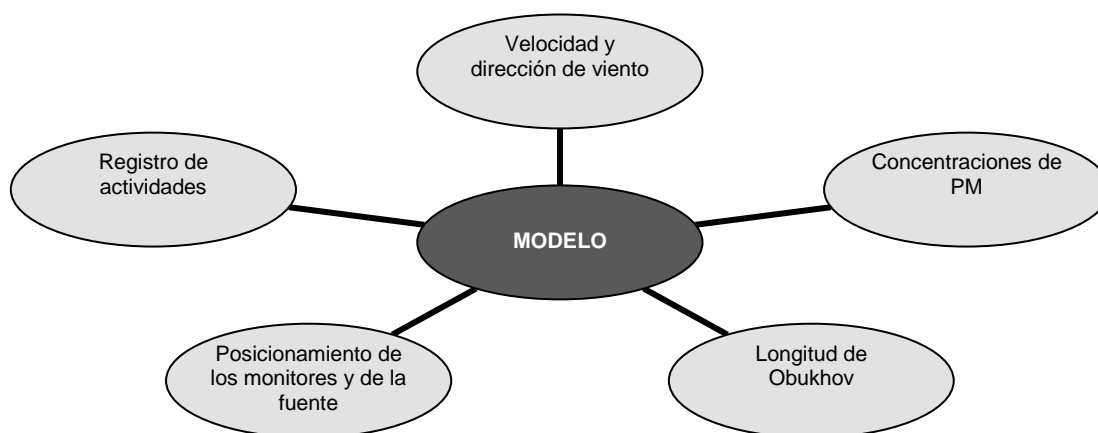


Figura 3. Datos requeridos para la aplicación del modelo desarrollado.

BLOQUE 3:
METODOLOGÍA PARA EL
CONTROL DE LAS EMISIONES
DIFUSAS DE MATERIAL
PARTICULADO

3 METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE LAS EMISIONES DIFUSAS DE MATERIAL PARTICULADO

3.1 Objeto

El objetivo del presente documento es facilitar a las empresas una guía para el control de las emisiones difusas de PM.

3.2 Alcance

En este documento se facilitan dos sistemas que pueden emplearse de forma independiente o de forma conjunta para el control de las emisiones difusas de PM, la estimación de emisiones difusas de PM mediante la aplicación de factores de emisión y/o ecuaciones empíricas y la medida perimetral de concentraciones de PM.

Cabe comentar que en el caso de usarse la metodología analítica en el presente documento se proporcionan ecuaciones genéricas y sencillas, aplicables a gran cantidad de procesos con el fin de que una empresa pueda realizar una declaración de sus emisiones de forma sencilla y empleando muy pocos parámetros experimentales. No obstante, para realizar un inventario exhaustivo se precisaría un desglose mucho más preciso del proceso y ecuaciones específicas para cada tipo de actividad (en el apartado de webgrafía y referencias bibliográficas se detallan algunas de las fuentes bibliográficas en las cuales se proponen factores de emisión y ecuaciones específicas). De hecho, cabe comentar que el ITC ha realizado trabajos de determinación de factores de emisión, en diversos sectores industriales, a petición del Ministerio de Medio Ambiente (para evitar el uso de la nomenclatura seguida en cada remodelación de los Ministerios en este documento se utiliza Ministerio de Medio Ambiente de forma genérica para referirse al Ministerio competente en materia de Medio Ambiente)

3.3 Metodologías

A continuación se describen las dos metodologías comentadas.

3.3.1 Metodología analítica

En la realización de una estimación de emisiones difusas de PM se distinguen tres fases.

- **Recopilación bibliográfica:** En el caso de no disponer de información previa se deben recopilar las ecuaciones semiempíricas o factores de emisión propios del sector y operaciones objeto de estudio y sus respectivas actualizaciones.
- **Recopilación de datos propios de la instalación:** En general para la aplicación del método analítico son necesarios una serie de parámetros propios de la instalación (tales como medidas correctoras implantadas, producción, longitud de los viales y materias primas manipuladas) que deben ser conocidos.
- **Determinación de parámetros experimentales:** Ciertas ecuaciones semiempíricas precisan una serie de parámetros experimentales propios de la instalación (contenido en finos de los viales, humedad del material manipulado, entre otros). No obstante, en la bibliografía se recogen valores por defecto que pueden ser empleados cuando no se dispone de valores experimentales.

Ecuaciones semiempíricas y factores de emisión

Las ecuaciones y factores de emisión propuestos permiten estimar las emisiones difusas de PST y PM₁₀, considerando las siguientes fuentes de emisión:

- Tratamiento de materiales
- Manipulación de materiales
- Transporte por vehículos en vías no pavimentadas
- Transporte por vehículos en vías pavimentadas
- Erosión eólica

Tratamiento de materiales pulverulentos

A continuación, en la Tabla 3 se muestran los factores de emisión correspondientes a distintas operaciones de tratamiento de materiales según AP42 – USEPA.

Tabla 3: Factores de emisión para distintas operaciones de tratamiento de materiales.

Cálculo	Actividad	PST (kg/t)	PM ₁₀ (kg/t)	PM _{2.5} (kg/t)
F.E.	Trituración primaria, secundaria, terciaria	0.0027	0.0012	-
	Trituración primaria, secundaria, terciaria (controlado)	0.0006	0.00027	0.00005
	Trituración finos	0.0195	0.0075	-
	Trituración finos (controlado)	0.0015	0.0006	0.000035
	Tamizado	0.0125	0.0043	-
	Tamizado (controlado)	0.0011	0.00037	0.000025
	Tamizado finos	0.15	0.036	-
	Tamizado finos (controlado)	0.0018	0.0011	-
	Puntos de transferencia de material	0.0015	0.00055	-
	Puntos de transferencia de material (controlado)	0.00007	2.3·10 ⁻⁵	6.5·10 ⁻⁶
	Descarga de camiones (piedra fragmentada)		8·10 ⁻⁶	
	Descarga de camiones en cinta transportadora (piedra triturada)		5·10 ⁻⁵	
Cálculo de las emisiones totales	$E = \sum_{i=1}^n E_i \cdot (Producción)_i$	Siendo: E: Emisiones (kg/año) E _i : factor de emisión de la operación i (kg/t) i es cada una de las operaciones n es el número total de operaciones Producción _i : material manipulado anualmente en la operación i (t/año)		

Nota: Se entiende por controlado la aplicación de técnicas de supresión húmeda.

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I - 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing

Enlace: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s1902.pdf>

Manipulación, carga y descarga de materiales pulverulentos

En la Tabla 4 se muestra la ecuación propuesta para operaciones de manipulación de materiales pulverulentos según AP42 – USEPA.

Tabla 4: Factores de emisión para operaciones de manipulación, carga y descarga de materiales pulverulentos.

Cálculo	Ecuación	Unidades
F.E.	$E = k \cdot (0.0016) \cdot \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$	Siendo: E: factor de emisión (kg/t) K: factor proporcional al tamaño de partícula (adimensional). Para PST k=0.74 y para PM ₁₀ k=0.35. U: velocidad del viento (m/s): M: contenido en humedad del material (%).
Cálculo de las emisiones totales	$E_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{i,j} \cdot (\text{Producción})_{i,j}$	Siendo: E _T : emisiones totales (kg/año) E _{i,j} : factor de emisión de la operación i al manipular el material j (kg/t) i es cada una de las operaciones n es el número total de operaciones j es cada una de las materias primas m es el número total de materias primas Producción i,j: Toneladas manipuladas del material j en la operación i.

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I - 13.2.4 Aggregate Handling and Storage Piles

Enlace: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf>

Nota: En referencia a la humedad del material, se pueden emplear los valores de humedad recogidos en el documento 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles o puede ser determinada experimentalmente, tal y como se indica en los siguientes enlaces:

<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/app-c1.pdf> y <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/app-c2.pdf>

Transporte por vehículos en vías no pavimentadas

En la Tabla 5 se muestra la ecuación propuesta para operaciones de transporte por vías no pavimentadas según AP42 – USEPA.

Tabla 5: Factores de emisión para operaciones de transporte por vías no pavimentadas

Cálculo	Ecuación	Unidades
F.E.	$E = k \cdot \left(\frac{s}{12}\right)^a \cdot \left(\frac{W}{3}\right)^b \cdot \left(\frac{365 - P}{365}\right)$	E: Factor de emisión (g/VKT*) k: Factor según el tamaño de partículas para PST k=1.381 g/km y para PM ₁₀ k=0.423 g/km. s: Contenido en finos (d < 75µm) (%) W: Peso medio de los vehículos que circulan por el vial (t) P: Número de días en un año con al menos 0.25 l/m ² de lluvia Constantes: PST (a=0.7, b=0.45) y PM ₁₀ (a=0.9, b=0.45)
Cálculo de las emisiones totales	$E_{T_i} = E \cdot N_T \cdot L_T$ $E_T = \sum_{i=1}^n E_{T_i}$	Siendo: E _T : Emisiones del tramo T (g/año) N: número de vehículos que circulan anualmente por el tramo T (vehículos/año) L _T : Longitud del tramo (km) i: Cada uno de los tramos n: número total de tramos

*por vehículo kilómetro y tramo

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I 13.2.2 Unpaved Roads

Enlace: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>

Nota 1: En referencia al contenido en finos del vial este puede determinarse experimentalmente o emplear los valores proporcionados en el documento: AP 42, Fifth Edition, Volume I 13.2.2 Unpaved Roads

Transporte por vehículos en vías pavimentadas

En la Tabla 6 se muestra la ecuación propuesta para operaciones de transporte por vías pavimentadas según AP42 – USEPA.

Tabla 6: Factores de emisión para operaciones de transporte por vías pavimentadas

Cálculo	Ecuación	Unidades
F.E.	$E = k \cdot \left(\frac{SL}{2} \right)^{0.65} \cdot \left(\frac{W}{3} \right)^{1.5} - C$	E: Factor de emisión (g/VKT*) k: Factor según el tamaño de partículas (g/km) para PST k=24 y para PM10 k=4,6 sL : Carga de finos (d<75 µm) en la superficie (g/m ²) W: Peso medio de los vehículos (t) C: Factor de emisión debido a humos de escape, desgaste de frenos y neumáticos. Para PST y PM ₁₀ el valor de C es de 0,1317.
Cálculo de las emisiones totales	$E_{Ti} = E \cdot N_T \cdot L_T$ $E_T = \sum_{i=1}^n E_{T,i}$	Siendo: E _T : emisiones totales (g/año) N: número de vehículos que circulan anualmente por el tramo T (vehículos/año) L _T : Longitud del tramo (km) i: Cada uno de los tramos n: número total de tramos

*por vehículo kilómetro y tramo

Fuente: November 2006. AP42. Chapter 13.2.2.

Nota 1: La emisión para transporte por zona asfaltada proporcionada por la EPA fue modificada recientemente (principios de 2011). Teniendo en cuenta que los estudios previos se llevaron a cabo con la ecuación anterior, se ha creído conveniente mantener este criterio hasta que la nueva ecuación sea validada.

Nota 2: En referencia al contenido en finos del vial este puede determinarse experimentalmente o emplear los valores proporcionados en el documento: AP 42, Fifth Edition, Volume I 13.2.1 Paved Roads <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>

Erosión eólica

Para estimar las emisiones generadas por erosión eólica existen muchas ecuaciones, en la bibliografía, algunas de ellas complejas, que consideran parámetros del material, y meteorológicos, como por ejemplo la velocidad de fricción umbral del viento. No obstante, en este documento, puesto que se pretende aportar una metodología sencilla, en la Tabla 7 se muestran los factores de emisión propuestos en el documento "Emission Estimation Technique Manual for Mining" versión 2.3 de Environment Australia 2012 para estimar la cantidad de material potencialmente resuspendible desde montones de material al aire libre. Los factores de emisión incluidos en la tabla son valores propuestos para ser utilizados por defecto, en ausencia de otros valores. Presentan la ventaja de su sencillez, aunque su empleo puede llevar asociado gran incertidumbre, porque no tiene en cuenta las características del material, ni la meteorología. Por ello, su uso se debe limitar a situaciones donde estas emisiones sean poco importantes, mientras que cuando sean potencialmente significativas se aconseja el uso de métodos analíticos más sofisticados, e incluso experimentales.

Tabla 7: Ecuación para estimación de las emisiones generadas por erosión eólica.

Cálculo	Ecuación	Unidades
F.E.	F.E. PST =0.4 kg/ha/h F.E. PM ₁₀ =0.2 kg/ha/h	-
Cálculo de las emisiones totales	$E_T = FE \cdot S \cdot t$	Siendo: E _T : Emisión total (kg/año) FE: Factor de emisión (kg/ha/h) S: Superficie media de los acopios expuesta a la acción del viento (ha) t: tiempo de exposición anual a la acción del viento (h/año)

Fuente: Environment Australia, 2012. Emission Estimation Technique Manual for Mining. Version 2.3.

Medidas correctoras

Una vez calculadas las emisiones de PST y PM₁₀, es necesario considerar la eficacia de las medidas correctoras implantadas para estimar las emisiones reales. En este sentido, en el caso de que se encuentren implantadas medidas correctoras en alguna de las operaciones para el cálculo de las emisiones se aplicarán la ecuación propuesta en el documento Environment Australia, 1999. Emission Estimation Technique Manual for Diffuse Emissions, [s.l.].

$$Emisiones(t/año)_{con\ medidas} = Emisiones(t/año)_{sin\ medidas} \cdot (1 - R_G)$$

Siendo:

R_G: Rendimiento de la medida o medidas correctoras. (Se detallan en el bloque 4)

Nota: En el bloque 4 se describen las principales medidas correctoras y los rendimientos asociados a las mismas.

En el caso de que en una determinada operación se encuentren implantadas diversas medidas correctoras, y estas se consideran que son sistemas en serie, el rendimiento global (R_G), se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$R_G = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Siendo:

i: Cada una de las medidas correctoras aplicadas.

n: Número total de medidas correctoras aplicadas en una determinada operación.

R_i: Rendimiento de cada una de las medidas correctoras.

3.3.2 Metodología experimental para el control de emisiones difusas de PM

Cabe destacar que las Autorizaciones Ambientales Integradas otorgadas a empresas de distintos sectores en distintas comunidades autónomas pueden exigir el control mediante la medida de distintos parámetros: PST, PSD, PM₁₀ y que los requisitos a cumplir pueden ser distintos. Por lo que en este documento, a modo de ejemplo, se recopila la información referente a la Comunitat Valenciana y se proporcionan enlaces que permiten evaluar los requisitos a cumplir y metodología a seguir para el registro perimetral de concentraciones de PM. Este documento pretende ser una guía y, por tanto, cualquier requisito exigido en las autorizaciones ambientales integradas, nueva legislación o legislación específica aplicable a una determinada instalación prevalecerá sobre lo indicado en el presente documento.

Los requisitos exigidos en la **Comunitat Valenciana** para el control de emisiones difusas de PM son los exigidos en el Decreto 127/2006.

Los valores límite a aplicar para actividades que emitan partículas no canalizadas serán los siguientes:

- Partículas totales en suspensión:
 - 150 µg/m³. (Media aritmética de los valores registrados durante el periodo de muestreo).
 - 300 µg/m³. (Máximo de todos los valores medios diarios registrados durante el periodo de muestreo).
- Partículas Sedimentables (concentración media en 24 horas): 300 mg/m².

El control se realizará en todo el perímetro de la instalación. Todos los criterios citados anteriormente serán de obligado cumplimiento. No obstante, aquellas actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, que se encuentren a una distancia igual o inferior a 500 metros de un núcleo residencial, deberán muestrear únicamente la fracción PM₁₀, debiéndose cumplir los valores límites establecidos Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire (éste deroga el R.D. 1073/2002, al que hace referencia el Decreto de 127/2006, pero mantiene los valores límite incluidos en la Tabla 8).

Tabla 8: Valores límite y parámetros de control en función de la distancia a núcleo urbano.

Distancia núcleo urbano	Parámetro control	Valor medio de valores de 24 h (µg/ m ³)	Máximo de valores diarios (µg/ m ³)	Valor medio diario (mg/m ² día)
≤ 500m	PM ₁₀	40	50	
> 500m	PST	150	300	
	PSD			300

Por otro lado, y puesto que, como se ha indicado anteriormente, los parámetros de control y valores límite exigidos en las distintas comunidades autónomas pueden diferir, en la Tabla 9 se muestran los parámetros y límites que generalmente suelen ser de aplicación.

Tabla 9: Parámetros de control para las emisiones difusas de PM y valores límite

Parámetros de control	Límites	Fuentes de referencia y/o interés
PST	PST: 150 µg/m ³ (Media aritmética de los valores registrados durante el periodo de muestreo). Aplicables al perímetro de la instalación	Decreto 151/2006, de 25 de julio (Andalucía) Instrucción Técnica IT-ATM-09 (Andalucía) Decreto 127/2006 (Comunidad Valenciana) Orden de 11 de julio de 2012 (País Vasco) Instrucción Técnica - 03 (IT-03): Control de las emisiones difusas de partículas a la atmósfera (País Vasco)
PSD:	PSD: 300 mg/m ² día (concentración media en 24 horas) Aplicables al perímetro de la instalación	Orden de 11 de julio de 2012 (País Vasco) Instrucción Técnica - 03 (IT-03): Control de las emisiones difusas de partículas a la atmósfera (País Vasco) Guía para la prevención de emisiones difusas de partículas, 2012 (Gobierno Vasco) IT- VCA 08* (Cataluña) Decreto 50/2009, de 18 de junio (Cantabria) Orden 30/04/2002 (Castilla la Mancha)

La metodología exigida para llevar a cabo el muestreo puede variar en función de los requisitos exigidos en cada comunidad por lo que se recomienda consultar las referencias propuestas en la tabla o la documentación específica aplicable. No obstante, para la determinación de PSD, en general, las medidas suelen realizarse anualmente o una vez por estación con entre 2 y 3 medidores y durante un periodo variable entre 15 días y un mes. En el caso de PST, PM₁₀ y PM_{2.5} se suelen recomendar muestreos de 24 h durante 3-7 días con al menos dos muestreadores y con una periodicidad anual o cuatrimestral.

Determinación de PSD

El método consiste en recoger y determinar gravimétricamente las partículas atmosféricas que son depositadas por gravedad o arrastradas por la lluvia. Para ello se emplea un dispositivo muestreador de material sedimentable como el mostrado en la Figura 4.

Determinación de PST

Las partículas suspendidas en el aire, es decir, aquellas que no se sedimentan fácilmente por la acción gravitatoria, encontrándose animadas en un movimiento browniano, se recogen haciendo pasar un volumen conocido de aire a través de un filtro de superficie conocida. La determinación se realiza por diferencia de peso del filtro antes y después de la toma de muestra.

En la *Orden de 10 de agosto de 1978 por la que se establecen las normas técnicas para el análisis y valoración de los contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera, aunque está derogada parcialmente*, describe el equipamiento y metodología que puede ser empleada para la determinación de las partículas sedimentables y partículas en suspensión. No obstante, en determinadas comunidades autónomas son de aplicación decretos o instrucciones técnicas específicas que deben ser consultados para aplicar el procedimiento requerido.

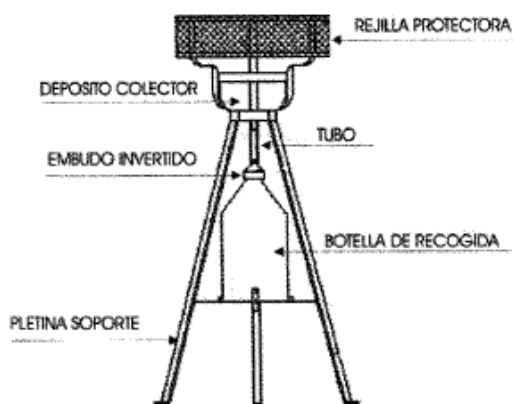


Figura 4: dispositivo para la determinación de PSD (izq.) y captador de alto volumen (dcha).

Determinación de PM_{10} y $PM_{2,5}$

En el caso de que se deba realizar el muestreo de PM_{10} y $PM_{2,5}$ los métodos de referencia son:

- Para PM_{10} , el método de referencia para la toma de muestras y la medición de PM_{10} es el que se describe en la norma UNE-EN 12341:1999 «Calidad del aire-Determinación de la fracción PM_{10} de la materia particulada en suspensión-Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia».
- Para $PM_{2,5}$: el método de referencia para la toma de muestras y la medición de $PM_{2,5}$ es el que se describe en la norma UNE-EN 14907:2006 «Calidad del aire ambiente-Método gravimétrico de medida para la determinación de la fracción másica $PM_{2,5}$ de la materia particulada en suspensión».

**BLOQUE 4:
PRINCIPALES MEDIDAS
CORRECTORAS**

4 PRINCIPALES MEDIDAS CORRECTORAS

4.1 Objeto

El objetivo del presente bloque es aportar información sobre medidas ampliamente implantadas para la reducción de emisiones difusas de PM, en operaciones básicas de gestión y transporte de materiales pulverulentos. Además, el ITC ha realizado trabajos de determinación de rendimientos de medidas correctoras específicas, a petición del Ministerio de Medio Ambiente.

4.2 Alcance

En este bloque se describen las medidas correctoras genéricas, que son por tanto potencialmente aplicables a una gran cantidad de procesos. En ningún caso se pretende dar una recopilación exhaustiva de medidas correctoras, de hecho para obtener información sobre medidas aplicables a una actividad concreta se recomienda siempre consultar bibliografía específica.

4.3 Medidas correctoras por operaciones


En este apartado se muestran las medidas propuestas para la reducción de emisiones difusas de PM asociadas a operaciones de gestión y transporte de materiales pulverulentos.

4.3.1 Descripción de las medidas

Almacenamiento, manipulación y transferencia de materiales

En las tablas 10 a 12 se muestran las principales medidas correctoras propuestas en el documento BREF sobre almacenamiento para la reducción de emisiones difusas de PM asociadas a operaciones de almacenamiento, manipulación y transferencia de materiales pulverulentos.

Tabla 10: Medidas para reducir las emisiones de PM generadas por el almacenamiento de sólidos.

Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento de sólidos				
Primarios	Organizativos	Control		
	Organizativos	Disposición y funcionamiento de los lugares de almacenamiento (a cargo del personal de planificación y explotación)		
		Mantenimiento (técnicas de prevención/reducción)		
		Reducción de las superficies expuestas al viento		
		De construcción		Silos de gran volumen
	De construcción	Hangares o tejados		
		Bóvedas		
		Cubiertas autoinstalables		
		Silos y tolvas		
		Montículos, vallas o plantaciones de protección contra el viento		
	Técnicos	Técnicos		Utilización de protecciones contra el viento
		Cubierta para el almacenamiento al aire libre		
		Humidificación del almacenamiento abierto		
Secundarios	Secundarios	Aspersión de agua/cortinas de agua y aspersión de agua a presión		
	Extracción de polvo de hangares y silos de almacenamiento			

Fuente: Basado en resumen ejecutivo BREF almacenamiento,

Enlace: <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>

Tabla 11: Medidas para reducir las emisiones de PM generadas por el transporte y manipulación de sólidos.

Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el transporte y manipulación de sólidos		
Primarios	Organizativos	Formación e información
		Establecer criterios de operación según condiciones climáticas
		Medidas (a cargo del operador de la grúa) cuando se utiliza una cuchara de almeja: <ul style="list-style-type: none"> • reducir la altura de caída cuando se descarga el material • cerrar totalmente la cuchara o las garras tras haber recogido el material • dejar la cuchara en las tolvas el tiempo suficiente después de la descarga • detener el funcionamiento de la cuchara cuando sopla viento fuerte
		Medidas (a cargo del operador) cuando se utiliza una cinta transportadora: <ul style="list-style-type: none"> • hacer funcionar la cinta transportadora a la velocidad adecuada • evitar cargar la cinta hasta los bordes
		Medidas (a cargo del operador) cuando se utiliza una pala mecánica: <ul style="list-style-type: none"> • reducir la altura de caída cuando se descarga el material • elegir la posición correcta durante la descarga a un camión
		Disposición y funcionamiento de los lugares de almacenamiento (a cargo del personal de explotación y de planificación) <ul style="list-style-type: none"> • reducir las distancias de transporte • ajustar la velocidad de los vehículos • utilizar carreteras de firme duro • reducir las superficies expuestas al viento
		Optimizar las cucharas de almeja
		Utilizar cintas transportadoras cerradas (por ejemplo, tubulares, helicoidales, etc.)
		Cinta transportadora sin poleas de apoyo
	Técnicos	Medidas primarias relativas a las cintas transportadoras convencionales
		Medidas primarias relativas a las rampas de transporte
		Minimizar la velocidad de bajada
		Minimizar las alturas de caída libre (por ejemplo, tolvas con caídas en cascada)
		Utilizar barreras contra la dispersión del polvo en los pozos de descarga y en las tolvas
		Depósitos que limitan la emisión de polvo
Secundarios	Cintas transportadoras con carenado	
	Confinar o cubrir las fuentes de emisión	
	Colocar cubiertas, fundas o tapones en los tubos de llenado	
	Sistemas de extracción	
	Sistemas de filtrado para cintas transportadoras neumáticas	
	Pozos de descarga con equipos de aspiración, cubierta y barreras contra la emisión de polvo	
	Tolvas de descarga optimizadas (en los puertos)	
	Técnicas de aspersión de agua/cortinas de agua y de aspersión de agua a presión	
	Limpiar las cintas transportadoras	
	Equipar los camiones con aletas mecánicas/hidráulicas	
	Limpiar las carreteras	
	Limpiar los neumáticos y bajos de los vehículos	

Fuente: Basado en resumen ejecutivo BREF almacenamiento,

Enlace: <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>

El transporte de materiales sólidos a granel se realiza fundamentalmente por carretera y por vía marítima. Desde el punto de vista de las emisiones de material particulado difuso, el transporte marítimo puede generar emisiones fundamentalmente en las operaciones de carga y descarga en los puertos, que deben disponer de protocolos específicos para minimizar dichas emisiones, mientras que el transporte de materiales pulverulentos por carretera afecta a un mayor número de instalaciones y actividades, muchas de ellas desarrolladas por pequeñas y medianas empresas, por lo que en este manual se les ha dedicado mayor atención.

Transporte por carretera en camiones “bañera”

Las materias primas pulverulentas suelen ser transportadas entre las empresas, entre minas y empresas, de puertos a empresas, etc., por medio de camiones, siendo los camiones tipo “bañera” los más habituales, porque presentan muy pocas limitaciones técnicas en cuanto a la tipología de materiales a transportar.

No obstante, si el transporte no se realiza adecuadamente, en este tipo de camiones pueden producirse pérdidas importantes de material que dan lugar a emisiones difusas. Estas pérdidas son debidas principalmente a cuatro causas, como se esquematiza en la figura 5 en la que además se han incluido las emisiones por los gases de escape del motor.

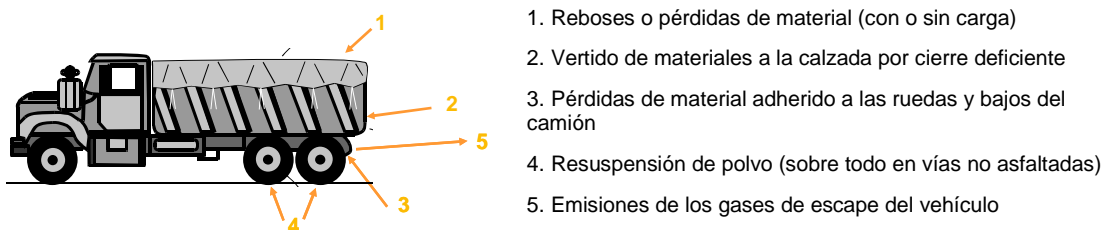


Figura 5: Emisiones en el transporte de materiales pulverulentos mediante camiones bañera

Como consecuencia de dichas pérdidas por parte del transporte de materiales pulverulentos, éstos pueden ser arrastrados por la acción del viento o depositarse sobre la calzada. Por lo que además del impacto medioambiental provocado por esta emisión de polvo al ambiente, se produce el depósito de materiales en las carreteras que puede ser resuspendido posteriormente e incluso provocar problemas de seguridad vial.

Por lo tanto, para minimizar las consecuencias del transporte de material pulverulento se ha considerado oportuno establecer unas recomendaciones tanto aplicables al vehículo como a las empresas usuarias de este medio de transporte.

Tabla 12: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el transporte mediante camiones “bañera”.



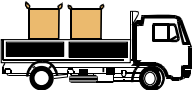
Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el transporte mediante camiones bañera	
Aplicables al vehículo (camión bañera)	Cubrir la bañera con un toldo siempre (con o sin carga)
	Asegurar un buen sellado de la puerta trasera
	Moderar la velocidad principalmente en vías no asfaltadas
Aplicables a las empresas (proveedores materias primas, minas, receptores, etc.)	Sistemas de llenado que eviten sobrecargas
	Evitar ensuciar las vías públicas (emisiones difusas y seguridad vial): Zonas de circulación pavimentadas y limpias
	Disponer de sistemas de limpieza de ruedas y bajos de vehículos

Transporte por carretera en sistemas confinados

El transporte de materiales pulverulentos a granel puede realizarse, además de con los camiones tipo “bañera”, con otros tipos de camiones o sistemas que garantizan un mejor confinamiento de los materiales, aunque todos ellos presentan limitaciones en su aplicación.

En la Tabla 13 se detallan tres de estos sistemas de transporte alternativos, así como un resumen de sus ventajas y desventajas.

Tabla 13: Sistemas de transporte de alta eficacia.

Sistema de transporte	Ventajas	Desventajas	Aplicación general
CAMIONES CISTERNA 	Muy eficiente	Necesita infraestructuras adecuadas en carga y descarga	Aplicable a materiales de alto valor o elevada toxicidad. Ejemplos: ZnO, silicatos de circonio, nitratos, óxidos de plomo y cemento
SILOS TRANSPORTABLE 	Muy eficiente ambientalmente Gran flexibilidad	Sólo para materiales con buena fluidez. Necesita una infraestructura de silos, camiones especiales, etc. Limitado a distancias relativamente cortas	Aplicable a materiales de alto valor y consumo moderado. Ejemplo: granulado coloreado en cerámica y piensos
SACOS O BIG-BAGS 	Muy eficiente	Cantidades moderadas. Gestión de los residuos de envase	Aplicable a materiales procesados. Ejemplos: cementos, fertilizantes, piensos y fritas

4.3.2 Rendimientos de las medidas por operaciones

A continuación se detallan los rendimientos teóricos de las medidas propuestas para la reducción de emisiones difusas de PM, en operaciones de manipulación y transporte de materiales pulverulentos en base a las propuestas de Environment Australia (2012) y la Generalitat de Catalunya (2004).

Tabla 14: Rendimientos asociados a medidas correctoras para la reducción de emisiones difusas de PM en operaciones de transporte y gestión de materiales pulverulentos.

Operación	Medida correctora implantada	Rendimiento (%)
Transporte zona no asfaltada	Riego (>2 litros/m ² /h)	75
	Pavimentar	90
	Pavimentar+barrer	97
	Pavimentar+barrer+riego con agua	99
Transporte zona asfaltada	Barrer	70
	Riego con agua	80
	Barrer+riego con agua	94
Manipulación	Riego por aspersión de los montones	50
	Cabina de cerramiento	70
	Cabina de cerramiento parcial+Instalación filtros de mangas	83
	Cabina de cerramiento total+Instalación filtros mangas	99
Trituración	Cabina de cerramiento	70
	Cabina de cerramiento parcial+Instalación filtros de mangas	83
	Cabina de cerramiento total+Instalación filtros mangas	99
Erosión	Vallas perimetrales	30
	Riego por aspersión de los montones	50

Fuentes: Environment Australia, 2012. Emission Estimation Technique Manual for Mining. Version 2.3. y Generalitat de Catalunya. Direcció General de Qualitat Ambiental. Càlcul d'emissions fugitives de partícules en activitats extractives amb o sense planta de tractament de productes minerals associada i operacions similars. 1ª Edició Maig 2004

4.4 Medidas correctoras globales

4.4.1 Descripción general

En función del grado de implantación de medidas, se distinguen fundamentalmente dos tipos de escenarios:

1. Almacenamiento en instalaciones cerradas. Se incluye el almacenamiento en silos de los materiales pulverulentos, con sistemas de carga y descarga del silo completamente cerrados y dotados de sistemas de aspiración en los puntos en los que pueda generarse polvo; o alternativamente realizar todas las operaciones de almacenamiento y manipulación en naves cerradas y en depresión con filtración posterior del aire evacuado de estos locales.

2. Almacenamientos en instalaciones abiertas o al aire libre. Cuando no se puedan aplicar las medidas anteriores se realizará el almacenamiento al aire libre de los materiales tomando una serie de medidas preventivas. Entre ellas destacan el almacenamiento en compartimentos o celdas formadas por muros de contención. Otras medidas a adoptar son principalmente limitar la altura de montones, orientar los montones adecuadamente con respecto a la dirección del viento, mantener siempre humedecidos los materiales al menos superficialmente, disponer de vallas perimetrales con una altura superior a los acopios, cubrir la superficie de los acopios con lonas y evitar trabajos en días de viento intenso. Todas estas actuaciones deberán ser realizadas con el fin de minimizar al máximo la posible resuspensión del material existente en los acopios.

La elección de una u otra medida dependerá de las características de la instalación en concreto. Por ejemplo, en la concesión de Autorizaciones Ambientales Integradas (AAIs) en la industria cerámica el criterio adoptado por la Conselleria de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana para establecer las MTDs suele ser la distancia a un núcleo urbano. Siguiendo este criterio en las instalaciones ubicadas a una distancia inferior o igual a 1000 metros de un núcleo urbano de población o cualquier núcleo residencial, las operaciones deben realizarse en instalaciones cerradas (punto 1). Las instalaciones ubicadas a una distancia superior a 1000 metros de un núcleo urbano de población o cualquier núcleo residencial, pueden desarrollar estas actividades en instalaciones abiertas o al aire libre (punto 2).

4.4.2 Rendimiento global

Finalmente, a modo de ejemplo, se muestran los resultados obtenidos en un estudio realizado en el sector cerámico en el cual, en base a los criterios antes mencionados, las instalaciones en las que se llevan a cabo operaciones susceptibles de generar emisiones difusas de PM fueron divididas en los dos grupos antes mencionados (el segundo grupo fue subdividido en tres grupos).

Almacenamiento en instalaciones cerradas

- **Escenario I:** Instalaciones cerradas en las que el transporte se realiza por vías pavimentadas y la totalidad de las actividades de manipulación de materiales pulverulentos se realiza en recintos cerrados con aspiración y posterior filtración del aire evacuado.

Almacenamientos en instalaciones abiertas o al aire libre

- **Escenario II:** Instalaciones en las que el transporte se realiza por vías pavimentadas y las operaciones de manipulación de materiales pulverulentos se encuentran parcialmente cerradas.
- **Escenario III:** Instalaciones en las que el transporte se realiza mayoritariamente por vías pavimentadas y operaciones como la trituración se encuentran cerradas. Disponen de pantallas cortavientos en el perímetro.

- **Escenario IV:** Instalaciones en las que el transporte se realiza mayoritariamente por vías no pavimentadas y disponen de escasas medidas para la reducción de las emisiones generadas en operaciones de manipulación y/o tratamiento de los materiales pulverulentos.

A continuación se detallan los resultados obtenidos en los cuatro escenarios tecnológicos descritos para la industria cerámica.

Tabla 15: Rendimientos globales en función del tipo de instalación para la industria cerámica.

Tipo de instalación	Escenario	Medidas correctoras aplicadas	Eficiencia (%)	Factor emisión (g PM ₁₀ /t)
Cerrada	I	Transporte por zonas asfaltadas Cerramiento total de las zonas de manipulación de materias primas Sistemas de extracción y posterior filtración del aire evacuado	>95	7–11
Abierta	II	Transporte por zonas asfaltadas Cerramiento parcial de las zonas de manipulación de materias primas	75–82	71–96
	III	Riego de zonas no asfaltadas Mayor parte del transporte por zonas asfaltadas (>75%) Cerramiento y sistemas de extracción en operaciones susceptibles de generar emisiones difusas (trituración, etc.) Vallas perimetrales	25–50	220–240
	IV	Mayor parte del transporte por zonas no asfaltadas (>75%) Medidas correctoras de bajo rendimiento en operaciones en operaciones susceptibles de generar emisiones difusas (trituración, etc.)	<20	270–350

Fuente: Monfort et al. 2011 *Atmos. Environ.*, 45(39), 7286-7292, 2011.

BLOQUE 5: REFERENCIAS DE INTERÉS

5 REFERENCIAS DE INTERÉS

5.1 Webgrafía de interés

Las ecuaciones y factores de emisión se han obtenido de distintas fuentes bibliográficas. En el caso de necesitar más información se pueden consultar los siguientes enlaces:

Tratamiento de materiales

- Referencia: *Crushed Stone Processing and pulverized mineral processing AP-42* (Chapter 11.19.2).

- Enlace: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s1902.pdf>

Manipulación de materiales

- Referencia: *Aggregate Handling and Storage Piles AP 42* (Chapter 13.2.4).

- Enlace: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf>

Transporte vías no pavimentadas

- Referencia: *Unpaved Roads AP 42* (Chapter 13.2.2).

- Enlace: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>

Transporte vías pavimentadas

- Referencia: *Paved Roads AP 42* (Chapter 13.2.1).

- Enlace: http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201_2006.pdf

Erosión eólica

- Referencia: *Western Surface Coal Mining AP 42* (Chapter 11.9).

- Enlace: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s09.pdf>

- Referencia: *Emission Estimation Technique Manual for MINING*.

- Enlace: <http://www.npi.gov.au/system/files/resources/7e04163a-12ba-6864-d19a-f57d960aae58/files/mining.pdf>

- Referencia: *Emission Estimation Technique Manual for Mining and Processing of Non Metallic Minerals*.

- Enlace: <http://www.npi.gov.au/publications/emissionestimationtechnique/pubs/nonmetalic.pdf>

Operaciones de extracción

- Referencia: *Western Surface Coal Mining AP 42* (Chapter 11.9).

- Enlace: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s09.pdf>

- Referencia: *Emission Estimation Technique Manual for MINING*.

- Enlace: <http://www.npi.gov.au/system/files/resources/7e04163a-12ba-6864-d19a-f57d960aae58/files/mining.pdf>

- Referencia: *Emission Estimation Technique Manual for Mining and Processing of Non Metallic Minerals*.

- Enlace: <http://www.npi.gov.au/publications/emissionestimationtechnique/pubs/nonmetalic.pdf>

Determinación experimental de humedad y contenido en finos:

- Toma de muestras: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/app-c1.pdf>
- Análisis: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/app-c2.pdf>

Documentos BREF:

- Página web del Institute for Prospective Studies (IPTS) que es uno de los siete institutos de Joint Research Center (JRC) de la Comisión Europea, (<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>). En dicho enlace se pueden consultar todos los BREFS disponibles.

5.2 Referencias bibliográficas (orden por temática y cronología)

Sobre impacto ambiental de partículas procedentes de la industria cerámica

- [1] USEPA. Technical Guidance for Control of Industrial Process Fugitive Particulate Emissions (EPA-450/3-77-010). Marzo de 1997.
- [2] Alastuey, A.; Mantilla, E.; Querol, X.; Rodríguez, S. Estudio de la evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado en España: necesidades derivadas de la propuesta de la directiva del consejo relativa a partículas PM10 y PM2.5 e implicaciones en la industria cerámica. *Bol Soc Esp Ceram Vidr*, 39(1), 135-148, 2000.
- [3] Querol, X.; Alastuey, A.; Rodríguez, S.; Plana, F.; Mantilla, E.; Ruiz, C.R. Monitoring of PM10 and PM 2.5 ambient air levels around primary anthropogenic emissions. *Atmospheric Environment* 35, 5 848-858, 2001
- [4] Gómez, E. T.; Sanfeliu, T.; Rius, J.; Hernández, D. Caracterización granulométrica y mineralógica de la materia particulada atmosférica en el área cerámica de Castellón.. *Bol Soc Esp Ceram Vidr*, 40(3), 185-194, 2001.
- [5] Querol, X.; Alastuey, A.; Viana, M.M.; Rodríguez, S.; Artíñano, B.; Salvador, P.; Garcia Do Santos, S.; Fernandez Patier, R.; Ruiz, C.; De La Rosa, J.; Sanchez De La Campa, A.; Menendez, M.; Gil, J.I. Speciation and origin of PM10 and PM 2.5 in Spain. *Journal of Aerosol Sciences* 35, 1151–1172, 2004
- [6] Monfort, E. ; Celades, I. ; Mestre, S. ; Sanz, V. ; Querol, X.. Industrial PMx data processing in ceramic tile manufacturing emissions. *Key Engineering Materials*. Vols. 264-268, 2453-2456 (ISBN 0-87849-946-6), 2004.
- [7] Plan de Mejora de la Calidad de Aire en el municipio de Bailén.2006. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente
- [8] Minguillón, M.C.; Querol, X.; Alastuey, A.; Monfort, E.; Miró, J.V. PM sources in a highly industrialised area in the process of implementing PM abatement technology. Quantification and evolution. *J. Environ. Monit.*, 9(11), 1071-1081, 2007.
- [9] Minguillón, M.C.; Monfort, E.; Querol, X.; Alastuey, A.; Mantilla, E.; Sanz, M.J.; Sanz, F.; Roig, A.; Renau, A.; Felis, C.; Miró, J.V.; Artíñano, B. PM10 speciation and determination of air quality target levels. A case study in a highly industrialized area of Spain. *Science of the total environment*, 372, 382-396, 2007.
- [10] Moreno, T.; Querol, J.; Alastuey, A.; Minguillón, M.C.; Pey, J.; Rodríguez, S.; Miró, J.V.; Felis, C.; Gibbons, W. Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metalliferous particles from firework displays. *Atmos. Environ.*, 41(5), 913-922, 2007.

[11] Querol, X.; Minguillón, M.C.; Alastuey, A.; Monfort, E.; Mantilla, E.; Sanz, M.J.; Sanz, F.; Roig, A.; Renau, A.; Felis, C.; Miró, J.V.; Artiñano, B. Impact of the implementation of PM abatement technology on the ambient air levels of metals in a highly industrialised area. *Atmos. Environ.*, 41, 1026-1040, 2007.

[12] Querol, X.; Viana, M.; Alastuey, A.; Moreno, T.; Castillo, S.; Pey, J.; de la Rosa, J.; Sánchez de la Campa, A.; Artiñano, B.; Salvador, P.; García Dos Santos, S.; Fernández-Patier, R.; Moreno-Grau, S.; Negral, L.; Minguillón, M.C.; Monfort, E.; Gil, J.I.; Inza, A.; Ortega, L.A.; Santamaría, J.M.; Zabalza, J. Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. *Atmos. Environ.*, 41(34), 7219-7231, 2007.

[13] Pandolfi, M.; Viana, M.; Minguillón, M.C.; Querol, X.; Alastuey, A.; Amato, F.; Celades, I.; Escrig, A.; Monfort, E. Receptor models application to multi-year ambient PM10 measurements in an industrialized ceramic area: comparison of source apportionment results. *Atmos. Environ.*, 42(10), 9007-9017, 2008.

[14] Querol, X.; Alastuey, A.; Moreno, T.; Viana, M.M.; Castillo, S.; Peya, J.; Rodríguez, S.; Artiñano, B.; Salvador, P.; Sánchez, M.; Garcia Dos Santos, S.; Herce Garraleta, M.D.; Fernández Patier, R.; Moreno-Grau, S.; Negral, L.; Minguillón, M.C.; Monfort, E.; Sanz, M.J.; Palomo-Marín, R.; Pinilla Gil, E.; Cuevas, E. Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM10 and PM2.5) across Spain 1999–2005. *Atmos. Environ.*, 42, 3964-3979, 2008.

[15] Viana, M.; Pandolfi, M.; Minguillón, M.C.; Querol, X.; Alastuey, A.; Monfort, E.; Celades, I. Inter-comparison of receptor models for PM source apportionment: Case study in an industrial area. *Atmos. Environ.*, 42, 3820-3832, 2008.

[16] Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Zona ES 1003: Mijares- Penyagolosa (A. Costera) y Aglomeración ES 1015: Castelló. Valencia: Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. 2008.

[17] Plan de Mejora de la Calidad del Aire de L'Alacantí Occidental. Zona ES 1013: Segura-Vinalopó (A. Costera) y Aglomeración ES 1017: Alacant. Valencia: Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. 2010.

[18] Querol, X.; Viana, M.; Moreno, T.; Alastuey, A.; Pey, J.; Amato, F.; Pandolfi, M.; Minguillón, M.C.; Reche, C.; Pérez, N.; González, A.; Pallarés, M.; Moral, A.; Monfort, E.; Escrig, A.; Cristóbal, A.; Hernández, I.; Miró, J.V.; Jiménez, S.; Reina F.; Jabato, R.; Ballester, F.; Boldo, E.; Bellido, J. Bases científico-técnicas para un Plann Nacional de Mejora de la Calidad Del aire. Colección: informe CSIC. Ed.: CSIC, Madrid 2012; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente. N.I.P.O.: 310-06-107-8. Depósito Legal: M-21.760-2012

Sobre metodologías analíticas y experimentales para la estimación del flujo másico de partículas procedente de focos difusos y medidas correctoras

[19] US EPA (1995). AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 13: Miscellaneous Sources PM.

[20] Environment Australia, 1999. Emission Estimation Technique Manual for Fugitive Emissions. [s.l.]

[21] Jaecker-Voirol, A.; Pelt P. PM10 emission inventory in Ille de France for transport and industrial sources: PM10 re-suspension, a key factor for air quality. *Environmental Modelling & Software* 15, 2000, 575-581

[22] Venkatram, A. A critique of empirical emission factor models: a case study of the AP-42 model for estimating PM10 emissions from paved roads. *Atmospheric Environment* 34, 2000, 1-11

- [23] Crespí, S.N.; Palomino, I.; Aceña, B.; Martín, F.; Guerra, A.; Gomis, D.; Torres, F.; Sáez, J. Development of a computer system for control and prevention of air pollution in the Valencia Port (Spain). Proceedings of the Seventh International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. 365-369, 2001.
- [24] IPTS, European Commission, 2006. Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage. July 2006. 432 pp (<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>).
- [25] Chuen-Jinn Tsai, Chung-Tso Chang. An investigation of dust emissions from unpaved surfaces in Taiwan. Separation Purification Technology 29 (2002) 181-188
- [26] VDI 4285: 2004 Part 1: Determination of diffusive emissions by measurements - Basic concepts.
- [27] Generalitat de Catalunya. Direcció General de Qualitat Ambiental. Càlcul d'emissions fugitives de partícules en activitats extractives amb o sense planta de tractament de productes minerals associada i operacions similars. 1ª Edició Maig 2004.
- [28] Generalitat de Catalunya. Instrucció Tècnica de la Direcció General de Qualitat Ambiental (ITVCA 08). Realització de control d'emissions difuses a l'atmosfera a les activitats extractives de superfície amb o sense instal·lacions de tractament de productes minerals. 2ª Edició Maig 2004 (
- [29] Generalitat de Catalunya. Direcció General de Qualitat Ambiental. Criteris per a la redacció dels projectes i avaluacions ambiental d'activitats extractives de superfície amb o sense instal·lacions de tractament de productes minerals.
- [30] Gillies, J.A.; Etyemezian, V.; Kuhns, H.; Nicolic, D.; Gillette, D.A. Effect of vehicle characteristics on unpaved road dust emissions. Atmospheric Environment 39 (2005) 2341-2347
- [31] Sabah, A. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. Ecological Modelling 195, 2006, 338-348
- [32] Monfort, E.; Celades, I.; Gomar, S.; Rueda, F.; Quereda, F.; Sanfelix, V. Determinación de las fracciones PMx/PST en emisiones de partículas de la industria cerámica. Qualicer 2006. Castellón, 12-15 Febrero, 2006.
- [33] Monfort, E.; Celades, I.; Gomar, S.; Sanfelix, V.. Control y estimación de emisiones difusas de material particulado en operaciones al aire libre. PROMA-X Congreso de Ingeniería Ambiental, Bilbao, 3-5 octubre 2006. Publicado en: Actas del X Congreso de Ingeniería Ambiental (DL: BI-2278-06)
- [34] Monfort, E.; Celades, I.; Gomar, S.; Gazulla, M.F.; Sanfelix, V.; Martín, F.; de Pascual, A.; Aceña, B. Control de las emisiones difusas de material particulado en la industria cerámica. IX Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico (QUALICER 2006) Castellón, 12-15 febrero, 2006. Publicado en: Qualicer 2006: IX Congreso mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico. Castellón: Cámara oficial de comercio, industria y navegación, 2006. pp. P.BC137-P.BC150 (ISBN: 84-95931-17-6 O.C.)
- [35] Peter Werner Grundnig, Wilhelm Höflinger, Gerd Mauschwitz, Zechang Liu, Guiqin Zhang, Zhiqiang Wang. Influence of air humidity on the suppression of fugitive dust by using a water-spraying system. China Particuology, Vol. 4, Nº 5, 229-233, 2006
- [36] Jason A. Roney, Bruce R. White. Estimating fugitive dust emission rates using an environmental boundary layer wind tunnel. Atmospheric Environment 40 (2006) 7668-7685

- [37] Monfort, E.; Celades, I.; Sanfelix, V.; Gomar, S.; Martín, F.; de Pascual, A.; Aceña, B. Estimates of fugitive PM10 emissions from the ceramic tile industry. 10 th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society Berlin 17 - 21 june 2007
- [38] Monfort, E.; Celades, I.; Sanfelix, V.; Gomar, S.; Martín, F.; de Pascual, A.; Aceña, B. Experimental fugitive PM10 emission factors from solid bulk handling areas in the open air. En: CEM 2007: 8th International Conference on Emissions Monitoring: proceedings. Dubendorf: EMPA, 2007. pp. 245-250.
- [39] Monfort, E.; Celades, I.; Sanfelix, V.; Gomar, S.; Martín, F.; de Pascual, A.; Aceña, B. Experimental fugitive PM10 emission factors from solid bulk handling areas in the open air. 8th International conference on emissions monitoring Zürich 5-6 September 2007
- [40] Martín F.; Pujadas, M.; Artiñano, B.; Gómez-Moreno, F.; Palomino, I.; Moreno, N.; Alastuey, A.; Querol, X.; Basora, J.J.; Luaces, A.; Guerra, A. Estimates of atmospheric particle emissions from bulk handling of dusty materials in Spanish Harbours. Atmospheric Environment (2007), doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.12.003.
- [41] EN15445:2008: Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors-Fugitive dust sources by Reverse Dispersion Modelling.
- [42] Pallarés, S.; Gómez, E.T.; Sanfeliu, T. Characterization of the settleable and suspended particles to solve an air quality problem. Fresenius Environmental Bulletin 17 (10A), 1565-1576 Sp. Iss., 2008.
- [43] Vicente, A.B.; Sanfeliu, T.; Jordan, M.M.; Sanchez, A.; Esteban, M.D. Air prediction models of pollutants in an industrialised area of the Mediterranean basin. Fresenius Environmental Bulletin 17 (10A), 1554-1564 Sp. Iss., 2008
- [44] Monfort, E.; Celades, I.; Sanfelix, V.; Gomar, S.; Martín, F.; de Pascual, A.; Aceña, B. Estimates of fugitive PM10 emissions from the ceramic tile industry. En: HEINRICH, J.G.; ANEZIRIS, C.G. (EDS.) Proceedings of the 10th International conference of the european ceramic society. Baden-Baden: Göller, 2008. pp. 1804-1809
- [45] V. Sai Bhaskar, Mukesh Sharma. Assessment of fugitive road dust emissions in Kanpur, India: A note. Transportation Research Part D, 13 (6), 400-403, 2008.
- [46] Monfort, E.; Celades, I.; Monfort, E.; Celades, I.; Sanfelix, V.; Gomar, S.; López, J.L.; Calpe, V. Estimación de emisiones difusas de PM10 y rendimiento de MTD's en el sector cerámico. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr., 48 (1), 15-24, 2009.
- [47] Santacatalina, M.; Reche, C.; Minguillón, M.C.; Escrig, A.; Sanfelix, V.; Carratala, A.; Nicolás, J.F.; Yubero, E.; Crespo, J.; Alastuey, A.; Monfort, E.; Miró, J.V.; Querol, X. Impact of fugitive emissions in ambient PM levels and composition. A case study in Southeast Spain. Science of the Total Environment, 408(21), 4999-5009, 2010.
- [48] Monfort, E.; Sanfelix, V.; Celades, I.; Gomar, S.; Martín, F.; de Pascual, A.; Aceña, B. Diffuse PM10 emission factors associated with dust abatement technologies in the ceramic industry. Atmos. Environ. 45, 7286- 7292, 2011.
- [49] Environment Australia, 2012. Emission Estimation Technique Manual for Mining.
- [50] Environment Australia, 2012. Emission Estimation Technique Manual for Mining. [s.l.].

Sobre modelado de la dispersión de contaminantes atmosféricos

- [51] Taylor, G.I. Diffusion by continuous movements. Proc. Lond. Math. Soc. 20, 196-212, 1921.
- [52] Roberts, O.F.T. The theoretical scattering of smoke in a turbulent atmosphere. Proc. Roy. Soc. 104, 640-654, 1923.
- [53] Monin, A.S.; Obukhov, A.M. Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere. Tr. Akad. Nauk SSSR Geofiz. Inst. 24, 163-187, 1954.
- [54] Pasquill, F. The estimation of dispersion of windborne material. Meteorol. Mag. 90, 33-49, 1961.
- [55] Turner D.B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. USEPA AP-26, 1970.
- [56] Dyer, A.L. A review of flux profile relationships. Bound. Layer Meteor. 7, 363-372, 1974.
- [57] Calder, K.L. Multiple-source plume models of urban air pollution—their general structure. Atmos. Environ. 11, 403-414, 1977.
- [58] Van Ulden, A.P. Simple estimates for vertical diffusion from sources near the ground. Atmos. Environ. 12, 2125-2129, 1978.
- [59] Runca, E.; Sardei, F. Numerical treatment of time dependent advection and diffusion of air pollutants. Atmos. Environ. 9, 69-80, 1975.
- [60] Ermak, D.L. An analytical model for air pollutant transport and deposition from a point source. Atmos. Environ. 11, 231-237, 1977.
- [61] Irwin, J.S. Estimating plume dispersion a comparison of several sigma schemes. J. Clim. Appl. Met. 22, 92-114, 1983.
- [62] Llewelyn, R.P. An analytical model for the transport, dispersion and elimination of air pollutants emitted from a point source. Atmos. Environ. 17, 249-256, 1983.
- [63] Chauhan, R.S.; Shukla, J.B. Unsteady-state dispersion of a reactive gaseous species from an elevated time-dependent point source forming secondary species. Appl. Math. Modelling 13, 632-640, 1989.
- [64] Van Ulden, A.P. A surface-layer similarity model for the dispersion of a skewed puff near the ground. Atmos. Environ. 26A, 681-692, 1992.
- [65] Eckman, R.M. Re-examination of empirically derived formulas for horizontal diffusion from surface sources. Atmos. Environ. 28, 265-272, 1994.
- [66] Lin, J.S.; Hildemann, L.M. Analytical solutions of the atmospheric diffusion equation with multiple sources and height-dependent wind speed and eddy diffusivities. Atmos. Environ. 30, 239-254, 1996.
- [67] Lin, J. S.; Hildemann, L. M. A generalized mathematical scheme to analytically solve the atmospheric diffusion equation with dry deposition. Atmos. Environ. 31, 59-71, 1997.
- [68] Qian, W.; Venkatram, A. Performance of steady-state dispersion models under low wind-speed conditions. Bound. Layer Meteor. 138, 475-491, 2011

Sobre normativa

[69] Orden de 10 de agosto de 1978 por la que se establecen las normas técnicas para el análisis y valoración de los contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera

[70] Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono

[71] Orden de 30-04-2002, de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, por la que se regulan el trámite de notificación y determinados aspectos de la actuación de los organismos de control autorizados en el ámbito de calidad ambiental, área de atmósfera, en Castilla – La Mancha.

[72] Decreto 127/2006, de 15 de septiembre, del Consell, por el que se desarrolla la Ley 2/2006, de 5 de mayo, de la Generalitat, de Prevención de la Contaminación y Calidad Ambiental

[73] Decreto 50/2009, de 18 de junio, por el que se regula el control de la contaminación atmosférica industrial en la Comunidad Autónoma de Cantabria

[74] Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire

[75] Orden de 11 de julio de 2012, de la Consejera de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, por la que se dictan instrucciones técnicas para el desarrollo del Decreto 278/2011, de 27 de diciembre, por el que se regulan las instalaciones en las que se desarrollen actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera.

Guías e Instrucciones Técnicas

[76] Instrucción técnica - 03 (IT-03):Control de las emisiones difusas de partículas a la atmósfera (Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca)

[77] Guía para la prevención de emisiones difusas de partículas (Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Dirección de Planificación Ambiental)

[78] Instrucció tècnica de la direcció general de qualitat ambiental itvca 08 (Generalitat de Catalunya Departament de Medi Ambient i Habitatge Direcció General de Qualitat Ambiental)

[79] Instrucción técnica IT-ATM-09 Inspecciones reglamentarias de emisiones fugitivas de partículas sedimentables y en suspensión (Junta de Andalucía)