

ELEMENTOS PARA DEFINIR LA EXTENSIÓN DE ZONAS CLASIFICADAS ATEX POR LA PRESENCIA DE POLVO INFLAMABLE

García Torrent, J; Querol Aragón, E.; Medic Pejic, L.
Laboratorio Oficial J.M. Madariaga – Universidad Politécnica de Madrid

1. Introducción

Toda actividad humana lleva implícito un nivel de riesgo. La evolución y el desarrollo técnico y tecnológico crean nuevas situaciones de riesgo al enfrentarnos con nuevos procesos, pero a su vez ofrece las soluciones para que el nivel de riesgo se sitúe en unas cotas aceptables y lo más lejos posible del denominado "riesgo catastrófico".

Las técnicas de protección frente al riesgo de explosión, se basan en la siguiente secuencia:

- 1) Minimizar el riesgo de presencia de atmósferas explosivas, evitando o disminuyendo en la medida de lo posible las fuentes de escape de gases, vapores y polvos inflamables, así como procurando sustituir las sustancias inflamables por otras menos peligrosas.
- 2) Reducir mediante ventilación o dilución (gases) y extracción (povos) la concentración de sustancia inflamable al máximo para minimizar el tamaño de las áreas afectadas por los posibles escapes.
- 3) Clasificar las áreas en zonas de riesgo de presencia de atmósfera explosiva, delimitando el tamaño de las mismas.
- 4) Utilizar los equipos con un nivel de protección adecuado al riesgo de la zona.

2. Objeto y justificación de la clasificación de áreas

Se consideran áreas de riesgo aquéllas en las que pueden formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales para proteger la seguridad de los trabajadores afectados. Todas las sustancias inflamables o combustibles se consideran capaces de formar atmósferas explosivas a no ser que el análisis de sus propiedades demuestre lo contrario.

El propósito de la clasificación en zonas de los distintos emplazamientos donde pueden aparecer atmósferas explosivas **[1]** es facilitar la correcta selección e instalación de aparatos eléctricos y no eléctricos que se utilizan en dichas zonas con modos de protección adecuados, tomando en consideración las características particulares de los productos gaseosos (grupos de gases, clases de temperatura) o pulverulentos (granulometría, parámetros de explosividad). Un primer principio de

seguridad en el diseño de instalaciones debe ser la no introducción de ningún aparato en un emplazamiento peligroso, si no es absolutamente imprescindible.

El principio o fundamento de la clasificación de zonas es establecer unos niveles de probabilidad de generación y persistencia a lo largo del tiempo de atmósferas explosivas, lo que en realidad constituye una herramienta fundamental del análisis de riesgos entendido en su sentido más genérico, que es el de valorar la probabilidad del suceso y sus consecuencias.

En cada área de la planta, la probabilidad de explosión es el producto obtenido al multiplicar la probabilidad de aparición de una atmósfera potencialmente inflamable por la probabilidad de aparición de una fuente de ignición (figura 1). Evitando o minimizando los dos factores se puede conseguir reducir a valores aceptables la probabilidad de explosión.

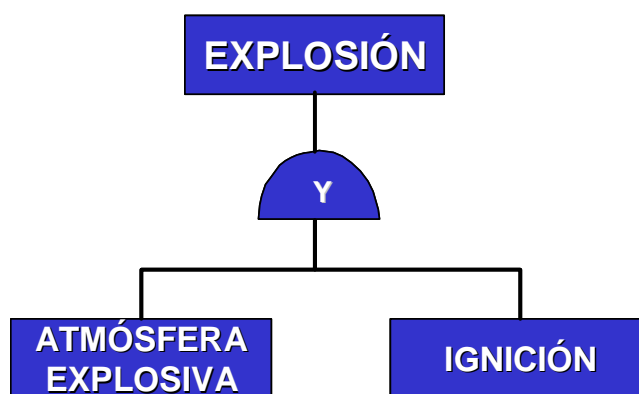


Figura 1. Probabilidad de explosión como producto de dos probabilidades.

Para establecer la clasificación de zonas de una planta es necesario realizar un estudio detallado que implica el análisis de la posibilidad de aparición de atmósfera explosiva de gas (zona 0, zona 1 y zona 2) o de polvo (zona 20, zona 21 y zona 22), según las definiciones de la tabla 1. Este planteamiento requiere por tanto, el examen detallado de cada equipo de proceso que contenga sustancias inflamables, y que represente una fuente potencial de escape.

Frecuencia y duración de la atmósfera explosiva	GAS	POLVO
Permanente o presente frecuentemente	Zona 0	Zona 20
Probable, de forma ocasional	Zona 1	Zona 21
Improbable y por poco tiempo	Zona 2	Zona 22
No cabe esperar su formación	ZONA SIN RIESGO	

Tabla 1. Definición de zonas con riesgo de atmósfera explosiva

Se denominan fuentes de escape los puntos o lugares por donde la sustancia inflamable en forma de gas, vapor, líquido o polvo inflamable puede mezclarse con el aire y generar una atmósfera explosiva.

En el interior de una planta, cualquier equipo que contenga una sustancia inflamable deberá considerarse como una fuente potencial de escape. Si está constatado que el equipo puede liberar sustancia inflamable a la atmósfera, es necesario en primer lugar determinar el grado de escape, estableciendo para ello la probabilidad de frecuencia y duración del escape. Con este procedimiento cada escape será calificado como “continuo”, “primario” o “secundario”.

3. Fundamentos de la clasificación de zonas para polvos

Las instalaciones en las que se maneja, produce o almacena polvo combustible se deben diseñar y mantener de tal manera que no se produzcan escapes de polvo combustible y, consecuentemente, la extensión de las zonas clasificadas sea mínima.

En el caso de actividades de mantenimiento, la extensión de la zona puede verse afectada temporalmente, pero es de esperar que esto sea controlado mediante un sistema de permisos para trabajo.

Los polvos combustibles normalmente forman atmósferas explosivas con aire en cierto intervalo de concentraciones. Por lo tanto, una alta concentración de una mezcla polvo/aire que pueda superar el teórico límite superior de explosividad y por consiguiente no ser una atmósfera de polvo explosiva, puede llegar a serlo si se diluye, o si se forman turbulencias y acumulaciones locales.

En una situación donde las mezclas polvo/aire son posibles se deberían seguir los siguientes pasos:

- 1.- Eliminar la posibilidad de una mezcla explosiva de polvo/aire y capas de polvo combustible
- 2.- Eliminar la posibilidad de cualquier fuente de ignición.

Si esto no se puede realizar, deben tomarse medidas para reducir la probabilidad de que ocurra alguna de las dos (mezcla explosiva y fuente de ignición), de forma que la probabilidad de que coincidan sea suficientemente pequeña como para ser aceptable. En algunos casos, cuando la prevención no puede garantizar un nivel de seguridad aceptable, puede ser necesario emplear algún método de protección contra explosiones (aislamiento, supresión, venteo o diseño resistente).

En la mayoría de las situaciones prácticas donde los polvos combustibles están presentes, es difícil asegurar que nunca aparezca una mezcla explosiva de polvo/aire o una capa de polvo combustible. Es también difícil asegurar que los equipos, máquinas o aparatos nunca se van a convertir en una fuente de ignición. Por tanto, en situaciones donde una mezcla explosiva de polvo/aire o una capa de polvo tienen alta probabilidad de coexistir, se utilizarán aparatos diseñados para tener una probabilidad extremadamente baja de originar una fuente de ignición.

Consecuentemente, cuando la probabilidad de una mezcla explosiva de polvo/aire o de existencia de capas de polvo combustible sea menor, la construcción de los aparatos eléctricos o no eléctricos seguirá un método constructivo menos restrictivo o con menor nivel de exigencias, y por ello de menor coste.

La clasificación zonal se debe basar en las características del material (tamaño de partícula, humedad del polvo, parámetros de explosividad), en la presencia de acumulaciones de polvo o fuentes de escape y en la probabilidad de que se puedan formar mezclas explosivas polvo/aire.

Para determinar las posibilidades de escape en los lugares por donde el polvo sale despedido, es liberado o puesto en suspensión, deben tenerse en cuenta parámetros del proceso, tales como:

- Presiones superiores a la atmosférica
- Velocidad de transporte
- Velocidad de extracción de polvo
- Altura de caída
- Obstáculos, acumulaciones y vibraciones
- Tamaños de partículas
- Contenido de humedad

Las nubes y capas de polvo se consideran de forma separada, ya que una nube de polvo es una atmósfera potencialmente explosiva en sí misma, mientras que una capa de polvo representa un riesgo latente. Por eso se considera que una capa de polvo actúa como una fuente de escape y, en consecuencia, se trata como tal a la hora de establecer la clasificación de zonas.

4. Influencia de las capas de polvo

En el interior de los equipos donde se almacenan, manipulan o procesan productos pulverulentos, a menudo no pueden evitarse las capas de polvo de espesor incontrolado, ya que forman parte del propio proceso.

Por el contrario, las capas de polvo que se forman en el exterior de los equipos deben ser controladas (por ejemplo, mediante una limpieza diaria) hasta alcanzar un nivel aceptable. Conseguir el nivel adecuado puede tener consecuencias en la selección de los equipos eléctricos o no eléctricos. La idoneidad del mencionado nivel depende entre otros factores, de las características del polvo y de la temperatura superficial del equipo o maquinaria.

En la mayoría de los casos, una capa de polvo de tan solo 1 mm de espesor contiene suficiente cantidad de éste para crear una mezcla polvo/aire explosiva **[2]**. En este caso, el área deberá ser clasificada.

Debe recordarse que, con el tiempo, es posible la formación de capas de polvo peligrosas a partir de una nube de polvo cuya concentración esté muy por debajo de la concentración mínima explosiva o límite inferior de explosividad, LIE.

Para definir la extensión de las capas hay que considerar que los polvos liberados por los equipos, sus elementos y uniones generalmente caen hacia abajo hasta una superficie firme (por ejemplo, suelo, o superficie que limita la caída hacia abajo del polvo) y por eso, una capa de polvo tendrá una extensión correspondiente por lo menos a la extensión en planta de la zona peligrosa originada por el escape de polvo.

El borrador original del subcomité 31 H de la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC, sobre clasificación de zonas [3] establecía la designación de zonas de la tabla 2 en función del espesor de la capa y la presencia de perturbaciones que faciliten la puesta en suspensión del polvo depositado.

Las ediciones posteriores del documento prenormativo “perdieron” la columna correspondiente a las capas de espesor incontrolado, como muestra la tabla 3 correspondiente a la norma IEC 61241-3:1997 [4].

Grado de la fuente	Capas de espesor incontrolado	Capas de polvo de espesor controlable	
		Frecuentemente perturbadas	Raramente perturbadas
Continua	20	21	22
Primaria	20	21	22
Secundaria	20	21	22

Tabla 2. Definición de tipos de zonas en función de las capas de polvo.

Grado de la fuente	Capas de polvo de espesor controlable	
	Frecuentemente perturbadas	Raramente perturbadas
Continua	21	22
Primaria	21	22
Secundaria	21	22

Tabla 3. Definición simplificada de tipos de zonas en función de las capas de polvo.

La extensión se puede precisar al considerar la situación ambiental donde se forma la capa:

- a) cuando la capa no se dispersa, ó sea en el recinto no hay presencia de perturbaciones o turbulencias, lo que se debe evaluar atentamente caso a caso, la extensión de la capa puede corresponder a la extensión en planta de la zona peligrosa originada por el escape

b) cuando la capa se dispersa, la extensión de la capa depende no sólo de la extensión en planta de la zona peligrosa originada por el escape desde el sistema de contención, sino también de las condiciones ambientales:

- en los recintos abiertos pueden considerarse solamente las capas en el entorno de las fuentes de escape y su extensión se evalúa en cada caso teniendo en cuenta también la dirección principal del aire. En general, en estos recintos los escapes pequeños continuos (escapes estructurales) se pueden despreciar
- en los recintos cerrados deben considerarse las capas de polvo en el entorno de la fuente de escape y también las capas que se pueden formar debido a dispersión o turbulencia. Su extensión, excepto en casos particulares, se determinará en cada caso teniendo en cuenta la cantidad de polvo y el volumen del recinto cerrado, que corresponderá generalmente a todo el recinto; en estos recintos los pequeños escapes continuos (escapes estructurales) no se pueden despreciar sin una evaluación particular de cada caso. Si la concentración de la nube (g/m^3) es mayor del 50% del LIE todo el recinto es zona peligrosa. Si la concentración de la nube (g/m^3) es igual o menor del 50% del LIE la zona puede no extenderse a todo el recinto sino sólo al entorno de las fuentes de escape; en caso de duda es oportuno considerar que la zona peligrosa se extiende a todo el recinto.

Si durante el funcionamiento de una instalación se encuentran acumulaciones de capas de polvo más allá de los límites que están definidos en la documentación de clasificación de zonas, la clasificación debe modificarse, aumentando la extensión de las zonas a todas las capas que se hayan encontrado.

Cuando una capa de polvo no se dispersa, o el polvo no se puede suspender en el aire, y si se excluyen fenómenos de combustión lenta que podría disiparse en parte a la atmósfera, la capa de polvo no origina zonas con peligro de explosión y presenta sólo peligro de incendio.

En cualquier caso, en una evaluación más amplia, se debe considerar también la posibilidad de que las capas pueden contribuir a explosiones secundarias.

Cuando una capa de polvo se dispersa, el polvo se puede suspender en el aire y formar atmósferas explosivas, por tanto es una fuente de escape con grado continuo, primario o secundario, que depende de la frecuencia de las perturbaciones.

Para determinar el tipo de zona producido por la presencia de una capa de polvo debe tenerse en cuenta la duración de dicha capa, lo que depende de:

- la categoría del escape a partir de la fuente de escape,
- el porcentaje en el que se deposita el polvo,
- la eficacia y frecuencia de la limpieza del lugar de trabajo.

Así, por ejemplo, una fuente de escape de grado secundario con un porcentaje elevado de formación de depósitos puede crear una capa peligrosa mucho más rápidamente que una fuente de escape primario con un porcentaje de deposición más bajo.

La presencia y duración de acumulaciones de polvo puede modificar la probabilidad de formación de atmósferas explosivas en función de las operaciones de mantenimiento y limpieza. Según se recogía en un documento prenormativo de la EN 50281-3 [1] [5], analizado por el comité CEN 305 (no eléctrico) antes de pasar a CENELEC (CLC/TC 31, comité eléctrico) se pueden considerar tres actuaciones:

a) Buen mantenimiento y limpieza.

No se requiere clasificación zonal cuando en ningún momento se llegan a acumular capas peligrosas.

b) Mantenimiento y limpieza suficientes.

Esta situación corresponde a la formación de capas de polvo no despreciables, pero de corta duración (menos de un relevo). Según la probabilidad de que se produzca la dispersión en funcionamiento normal se establece la clasificación que se muestra en la tabla 4. La dispersión será probable, por ejemplo, en zonas de tránsito de personal o máquinas, en capas depositadas sobre equipos móviles o que producen vibraciones o sacudidas durante arranques y paradas, etc.

La dispersión será poco probable en zonas alejadas del paso del personal, en zonas libres de corrientes y alejadas de máquinas con movimiento o vibración.

Grado de escape	Dispersión probable en funcionamiento normal	Dispersión improbable en funcionamiento normal
Primario	21	22
Secundario	22	No se clasifica

Tabla 4. Dispersión de capas de polvo no despreciables pero de corta duración.

c) Mal mantenimiento y limpieza

Corresponde al caso en que se forman capas de polvo, no despreciables y persistentes (con duración mayor que un relevo). La clasificación se muestra en la tabla 5.

Grado de escape	Dispersión probable en funcionamiento normal	Dispersión improbable en funcionamiento normal
Primario o secundario	21	22

Tabla 5. Dispersión de capas de polvo, no despreciables y persistentes.

Por otra parte, la Guía CEI 31-56 [6] proporciona el criterio de la tabla 6 para la designación de las zonas en función de la limpieza y la frecuencia de posibles perturbaciones de la capa de polvo.

Mantenimiento y limpieza	Frecuencia perturbación	
	Elevada	Baja
Bueno	No se clasifica	
Adecuado	21	22
Escaso	20	21

Tabla 6. Criterio de la Guía CEI 31-56 para la designación de zonas según limpieza.

Según se ha indicado, cuanto mayor es la probabilidad de que se forme o esté presente una atmósfera potencialmente explosiva, mayores deben ser las exigencias de los equipos que se van a instalar.

Es importante señalar que dentro de un mismo emplazamiento pueden coexistir diferentes tipos de zonas, cada una con sus correspondientes exigencias. A veces es posible desplazar un equipo (por ejemplo, luminarias, timbres, altavoces) una distancia corta, pero suficiente para que el equipo quede instalado en una zona de menor grado de exigencia.

5. Extensión de las zonas

La distancia, en cualquier dirección, entre el borde de una fuente de emisión y el punto donde el riesgo asociado se considera inexistente depende de:

- cantidad de polvo
- caudal
- tamaño de polvo
- contenido de humedad

Es difícil definir un criterio único y la norma UNE-EN 61241-10 [7] actualmente vigente, o las anteriores ya anuladas [8][9] no incluyen fórmulas o expresiones

experimentales que permitan definir la extensión de las zonas debidas a polvo con la precisión existente para las zonas de gases.

En general, se tomará normalmente una distancia de 1 m alrededor de la fuente de escape y hasta el suelo o superficie sólida.

Como el polvo se deposita y forma capas, a veces a distancias considerables, también de forma general se debe definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites que se extienda la capa de polvo.

Un emplazamiento clasificado como zona 20 se debe considerar que es inaceptable como zona de trabajo, es decir, nunca deberían entrar personas en zonas clasificadas como zona 20.

Si hay una fuente de escape de grado secundario en el exterior de un equipo o local, se definirá una zona 22 en el exterior, normalmente 1 m alrededor escape.

6. Definición de la distancia peligrosa d_z

Se entiende por distancia peligrosa d_z , la distancia respecto a la fuente de escape a partir de la cual la concentración de los polvos inflamables en el aire es inferior al LIE, calculada mediante métodos matemáticos. Dicha distancia se calcula según se indica en el párrafo 7 y se puede utilizar para determinar el orden de magnitud de las dimensiones de la zona peligrosa y no las dimensiones verdaderas [6].

Cuando la distancia peligrosa calculada d_z resulte menor de 1m, deberá considerarse al menos 1m.

6.1. Distancia de referencia d_0

La distancia peligrosa d_z se calcula partiendo de una distancia de referencia d_0 definida basándose en las características del polvo (tamaño medio de las partículas, densidad de la sustancia en consideración), en la ventilación presente en el emplazamiento, en el grado de escape de la fuente de escape, o en otros parámetros, según la siguiente fórmula [6]:

$$d_z = (d_0 + d_h)(k_d k_u k_{ta} k_w) \quad (1)$$

donde:

- d_z distancia peligrosa a la fuente de escape, en la dirección de escape y de la dispersión más probable de la nube explosiva [m];
- d_0 distancia de referencia [m];
- d_h distancia adicional que depende de la altura de la fuente de escape [m];
- k_d coeficiente que depende de la proporción entre la tasa de escape Q_d de la fuente de escape y del LIE de la sustancia considerada;
- k_u coeficiente relativo al contenido de humedad del polvo;
- k_{ta} coeficiente relativo al tipo de emplazamiento;
- k_w coeficiente que depende de la velocidad del aire de ventilación w en el entorno de la fuente de escape y de la velocidad de sedimentación u_t .

Para definir la distancia de referencia d_0 se deben distinguir dos situaciones:

- a) Escapes a baja velocidad (desde sistemas a presión atmosférica);

Para los escapes a baja velocidad (desde sistemas a presión atmosférica) la distancia de referencia d_0 generalmente se puede asumir igual a 1 m.

- b) Escapes a alta velocidad (desde sistemas a presión);

En este caso la distancia de referencia d_0 se puede obtener de los gráficos de las figuras 2 y 3, donde se indica la distancia en metros hasta donde puede llegar el polvo, considerando una fuente de escape próxima (hasta 3 m) a la superficie de acumulación (por ejemplo, suelo o superficie que limita por debajo la caída del polvo) en función del tamaño medio de las partículas d_m [μm] y de la densidad absoluta del polvo en consideración.

6.2. Distancia adicional d_h en función de la altura de la fuente de escape

Cuando la fuente de escape no está próxima a la superficie de acumulación, sino que se encuentra a más de 3 m de altura, se debe añadir la distancia d_h a la distancia de referencia d_0 en función de la altura de la fuente de escape, que se puede obtener de la Tabla 7.

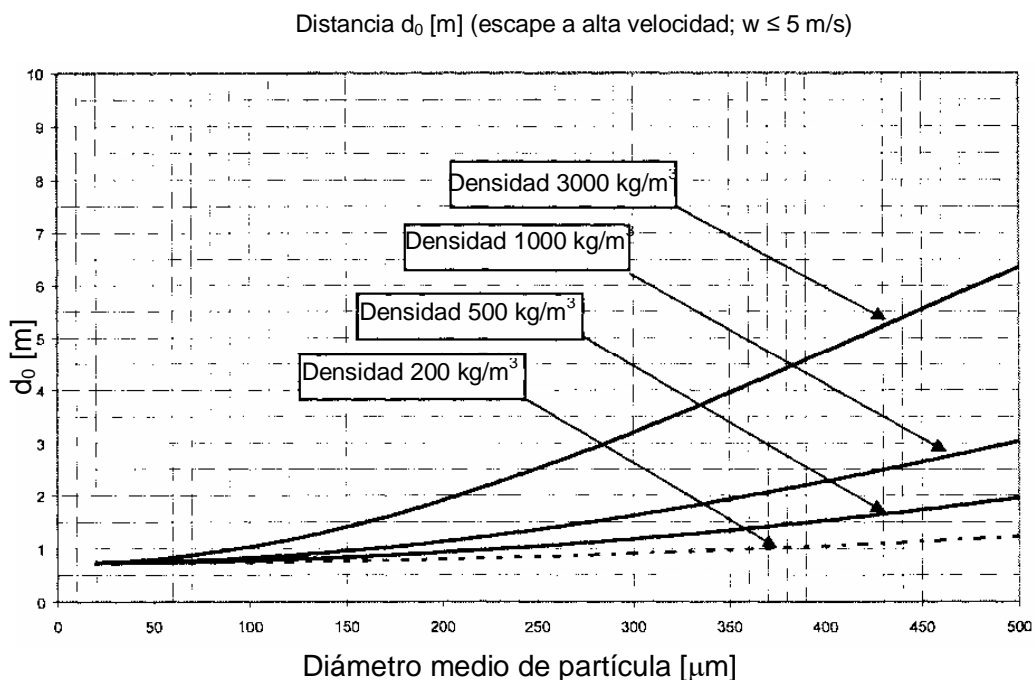


Figura 2. Distancia de referencia d_0 por una fuente de escape próxima al suelo desde un sistema a presión (a alta velocidad) y velocidad del aire $w \leq 0,5$ m/s

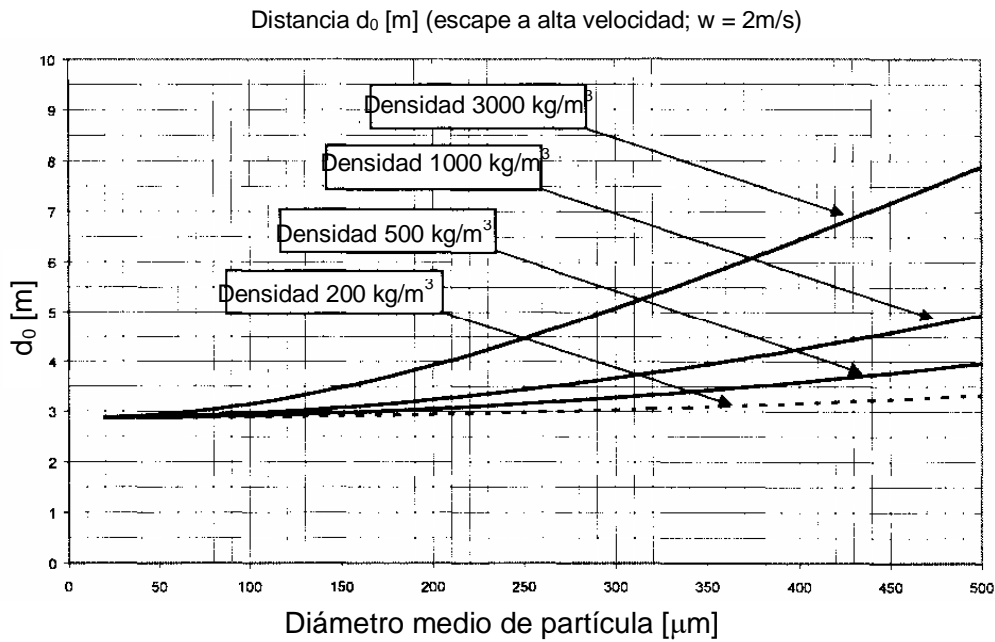


Figura 3. Distancia de referencia d_0 por una fuente de escape próxima al suelo desde un sistema en presión (a alta velocidad) y velocidad del aire $w = 2,0\text{ m/s}$

Pos.	Condición	d_h [m]
1	Si $h \geq 20\text{m}$	1,0
2	Si $20\text{m} > h > 3\text{m}$	0,5
3	Si $h \leq 3\text{m}$	0

Tabla 7. Distancia d_h (h =altura de la fuente de escape a la superficie de acumulación, que delimita la caída hacia abajo del polvo, [m])

6.3. Coeficientes referentes al polvo

a) Velocidad de sedimentación u_t

En función de su propia velocidad de caída o sedimentación u_t , el polvo se puede depositar rápidamente o bien permanecer suspendido en aire por un largo periodo de tiempo.

La velocidad de sedimentación se expresa mediante la siguiente fórmula, que proviene de la aplicación de la teoría de los fluidos viscosos (ecuación de Stokes):

$$u_t = \frac{\rho \cdot (d_m \cdot 10^{-6})^2 \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad (2)$$

donde:

u_t es la velocidad de sedimentación del polvo [m/s]

- ρ es la densidad absoluta del polvo (véase el apartado 5.5.9.1) [kg/m³]
 d_m es el tamaño medio de las partículas [μm]
 g es la aceleración de la gravedad [9,81 m/s²]
 μ es el coeficiente de viscosidad dinámica del aire [1,8 · 10⁻⁵ N·s/m²]

El tiempo de sedimentación se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$t_t = \frac{h}{u_t} \quad (3)$$

donde:

- t_t es el tiempo de sedimentación (caída) del polvo [s]
 h es la altura de caída del polvo [m]

b) Coeficiente relativo a la concentración de polvo k_d

Cuanto mayor es la cantidad de producto que escapa en comparación con el LIE del producto, tanto más extensa será la zona de riesgo.

El coeficiente k_d proviene de la comparación entre la tasa de escape Q_d de la fuente de escape y el LIE de la sustancia en consideración, teniendo en cuenta la velocidad de sedimentación u_t . Se puede obtener mediante la Tabla 8.

Pos.	Condición	k_d
1	Si $Q_d < 0,05 \cdot LIE \cdot 10^{-3} \cdot u_t \cdot d_0^2$	0,5
2	Si $Q_d \geq 0,05 \cdot LIE \cdot 10^{-3} \cdot u_t \cdot d_0^2$	1

Tabla 8. Coeficiente k_d

LIE: límite inferior de explosividad [g/m³]

Q_d : tasa de escape de la fuente de escape [kg/s]

c) Coeficiente relativo al contenido de humedad del polvo k_u

Cuanto más seco está el polvo, más fácilmente se dispersa y más lejos puede llegar. El coeficiente relativo al contenido de humedad del polvo k_u se puede obtener a partir de la Tabla 9.

Pos.	Contenido de humedad del polvo (%)	Gama de variación del coeficiente	Valor aconsejado k_u
1	desde 40% hasta 50%	desde 0,3 hasta 0,5	0,3
2	desde 12% hasta 40%	desde 0,5 hasta 1,0	0,8
3	inferior a 12%	desde 1,0 hasta 1,2	1,0

Tabla 9. Coeficiente relativo al contenido de humedad del polvo k_u

6.4 Coeficientes referentes al recinto

a) Coeficiente relativo al tipo de recinto k_{ta}

Los recintos abiertos permiten una mayor dilución de la concentración de polvo, lo que reduce la extensión de la zona clasificada.

El coeficiente relativo al tipo de recinto k_{ta} se puede obtener de la Tabla 10.

Pos.	Tipo de recinto	Gama de variación del coeficiente	Valor aconsejado k_{ta}
1	Abierto	desde 0,5 hasta 0,7	0,5
2	Abierto con obstáculos	desde 0,7 hasta 1,0	0,8
3	Cerrado	desde 1,0 hasta 1,2	1,0

Tabla 10. Coeficiente relativo al tipo de recinto k_{ta}

b) Coeficiente k_w

Las corrientes de aire internas favorecen la dispersión del polvo y, por tanto, la extensión de las zonas debe ser mayor.

El coeficiente k_w depende de la velocidad del aire de ventilación w en el entorno de la fuente de escape y de la velocidad de sedimentación u_t ; y se puede obtener de la Tabla 11.

Pos.	Condición	k_w
1	Si $w/u_t > 5$	3
2	Si $5 > w/u_t > 3$	2
3	Si $w/u_t \leq 3$	1

Tabla 11. Coeficiente k_w

w : velocidad del aire de ventilación en el entorno de la fuente de escape [m/s]

Para definir la velocidad del aire de ventilación w , puede tenerse en cuenta la tabla 12 que presenta una frecuencia típica de aparición de vientos, teniendo el viento en calma una velocidad menor de 1 nudo (0,514 m/s).

Velocidad del aire (nudos)	w (m/s)	w (km/h)	Frecuencia relativa
0,2 - 0,5	0,1 a 0,3	0,4 a 0,9	45
1 a 3	0,5 a 1,5	1,8 a 5,5	10
4 a 6	2,1 a 3,1	7,4 a 11,1	15
7 a 10	3,6 a 5,1	13,0 a 18,5	20
20 a 30	10,3 a 15,4	37,0 a 55,6	10

Tabla 12. Velocidad del aire w. Conversión de unidades y frecuencias

6.5. Tasa de escape de polvo Q_d

a) Estimación de las dimensiones de los orificios de escape debidos a fallos

Es difícil evaluar una estimación de las dimensiones de los orificios de escape determinados en caso de fallo de componentes del sistema de contención de polvo combustible (por ejemplo de proceso), para utilizarlo en la definición del grado de escape y valorar la extensión de las zonas peligrosas.

Generalmente las dimensiones de los orificios se basan en la experiencia práctica y en consideraciones de ingeniería, sobre todo en relación a los materiales utilizados, a la periodicidad y al esmero en mantenimiento y en la rapidez de intervención en caso de fallo. Por ejemplo:

- para el escape desde una brida se podría hacer referencia a la dimensión del orificio razonablemente previsible que se produce con más frecuencia considerando sus características constructivas y su utilización, o bien hacer referencia a la dimensión del orificio más grande, que se manifiesta con menor frecuencia, como es la correspondiente a la sección de enlace incluida entre dos agujeros de bloqueo de la brida
- para las juntas herméticas de los brazos de tracción o rotación, el área se puede definir asumiendo un orificio anular; generalmente este intersticio se considera proporcional al cuadrado del diámetro
- para el escape desde un manguito de conexión se podría hacer referencia a la dimensión del desgarrado razonablemente previsible que se manifiesta con más frecuencia, considerando sus características constructivas y su uso, o bien hacer referencia a la sección total de pasaje en el caso en que se prevea su deshulado del entubado o conducto.

b) Estimación de la tasa de escape de polvo Q_d

La tasa de escape Q_d de los escapes de grado continuo y primario debe evaluarse en cada caso mediante un análisis funcional.

La tasa de escape Q_d en escapes de grado secundario se puede evaluar basándose en la experiencia práctica o en consideraciones de ingeniería, teniendo en cuenta, si es el caso, la dimensión estimada de la abertura de escape tal como se indica en el apartado a).

En los casos donde no es posible definir el valor de la tasa de escape Q_d de modo más aproximado, se puede hacer referencia al caudal total P_p de proceso, según lo indicado en la Tabla 13.

Pos.	Evaluación de la tasa de escape Q_d	Valor de la tasa de escape Q_d a asumir
1	Grande	30% del grado total P_p
2	Media	5% del grado total P_p
3	Pequeña	1% de la tasa total P_p

Tabla 13. Estimación de la tasa de escape Q_d en función del caudal total propio de proceso P_p , de proceso en conformidad con la fuente de escape.

7. CONCLUSIONES

Las normas para clasificación de zonas por el riesgo de atmósferas explosivas debidas al polvo han sufrido un proceso continuo de evolución. En todos los casos provienen del sector eléctrico, que tradicionalmente, antes de la directiva 94/9/CE, establecía las reglas para definir distintos niveles de probabilidad de aparición y duración de las atmósferas explosivas.

La consideración de las capas de polvo de espesor incontrolable como situaciones de riesgo elevado ha sido objeto de intensos debates en los grupos de trabajo normativos, pasando de considerar los lugares donde se forman dichas capas como zona 20 a manifestar que tales capas sólo se deben formar en el interior de los equipos y que su presencia en el exterior es una mala práctica industrial que no es admisible.

A diferencia de las normas para la clasificación de zonas para gases, las de polvo siempre han sido demasiado exiguas en la definición de la extensión de las zonas. El trabajo realizado por el comité italiano es consistente y tiene fundamento científico y carácter práctico, lo que en nuestra opinión lo hace digno de elogio. Aún está falto de un rodaje amplio y generalizado, pero tiene unas buenas expectativas de difusión en su aplicación. Cabe quizá objetar que, entre las características de explosividad de los productos pulverulentos sólo se tienen en cuenta la TMI para la limitación de las temperaturas de los equipos y el LIE para definir la extensión de las zonas; mucho

más que en las normas, cierto, pero la naturaleza de los productos sólidos hace que existan enormes diferencias en otras características, como la energía mínima de inflamación del polvo. Así, algunos productos están dando valores de la EMI del orden de 1 mJ, o menos (del orden de magnitud de algunos gases inflamables, como el metano), mientras que otros tienen valores de EMI superiores a 1 J, lo que se traduce en una gran diversidad de comportamientos de las nubes de polvo y, por tanto, en la extensión donde se debe considerar que existe una nube potencialmente peligrosa.

La experiencia muestra que en la fase de diseño o proyecto de una instalación se tiende a minimizar la extensión de las zonas. La posterior puesta en marcha de la instalación y su uso día a día vienen a demostrar que aparecen fuentes de escape donde no las había en los planos y que durante los trabajos cotidianos se generan capas de polvo y acumulaciones que no se tuvieron en cuenta. Por eso es fundamental hacer la verificación real de la extensión de las zonas diseñadas por el proyectista.

Aquí la limpieza y el mantenimiento de los equipos desde el punto de vista de eliminar fuentes de escape es fundamental. Por ejemplo, un taller de carpintería en el que se disponga de aspiración localizada y haya un programa de limpieza escrupuloso conducirá a reducir notablemente la extensión de las zonas, haciendo posible incluso la no clasificación de algunas áreas. Por el contrario, una mala limpieza dará lugar a capas de polvo que extenderán la zona mucho más allá de las fuentes de escape (puntos de mecanizado de la madera), lo que conducirá a clasificar el entorno como zona 22 o incluso zona 21.

Cabe aquí preguntarse qué alternativa es la idónea: intensificar la limpieza para reducir la clasificación zonal o, por el contrario, seleccionar los equipos eléctricos y mecánicos para un mayor nivel de exigencia (categoría de conformidad superior). Desde el punto de vista del principio fundamental de la seguridad (presente en el espíritu de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales), se debe evitar el riesgo y el RD 681/2003 **[10]** dice claramente que la primera obligación del empresario es evitar la atmósfera explosiva, por lo que la limpieza es prioritaria. Sin embargo, un empresario con experiencia puede saber que en ciertas industrias los planes de limpieza no llegan a ser tan eficaces como deberían o que para conseguir el objetivo de eliminar las capas de polvo se precisan unos recursos humanos que no siempre están disponibles. En este caso, para mantener el principio de seguridad, lo más realista deberá ser suponer que pueden aparecer ciertas capas de polvo (siempre controladas) por lo que la selección de equipos debe ir hacia equipos de mayor categoría de conformidad, lo que supone una mayor inversión inicial, obviamente, pero permite mantener la dedicación del personal de mantenimiento y limpieza en un nivel razonable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ESCUER IBARS, F.; GARCÍA TORRENT, J.; VEGA REMESAL, A. (2005). Manual práctico de clasificación de zonas en atmósferas explosivas. Col·legi d'enginyers tècnics industrials de Barcelona (CETIB).
- [2]. ECKHOFF, R.K. (1991). Dust explosions in the process industries. Butterworth-Heinemann. Oxford.
- [3]. IEC SC31H. (1994). Apparatus for use in the presence of combustible dust. Ref. 31H/47/CDV.
- [4]. Norma IEC 61241-3. (1997). Electrical apparatus for use in the presence of combustible dusts. Part 3: Classification of areas where combustible dusts are or may be present.
- [5]. CEN /TC 305/WG2 N 212. Draft prEN50281-3. (1999). Equipment for use in the presence of combustible dusts. Part 3: Classification of areas where combustible dusts are or may be present.
- [6]. CEI 31-56 (2005) Costruzioni per atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili. Guida all'applicazione della Norma CEI EN 50281-3 (CEI 31-52) "Classificazione dei luoghi dove sono o possono essere presenti polveri combustibili".
- [7]. Norma UNE-EN 61241-10:2005. Material eléctrico para uso en presencia de polvo combustible. Parte 10: Clasificación de emplazamientos en donde están o pueden estar presentes polvos combustibles.
- [8]. Norma UNE-EN 50281-3:2004. Aparatos destinados a ser utilizados en presencia de polvos combustibles. Parte 3: Clasificación de emplazamientos en donde están o pueden estar presentes polvos combustibles.
- [9]. Norma UNE 202004-3:2003 Material eléctrico para uso en presencia de polvo combustible. Parte 3: Clasificación de los lugares donde hay o puede haber polvos combustibles.
- [10]. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 681/2003 (B.O.E. 18/Junio/2003) sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo (Directiva ATEX 137)