



Explosiones de polvo: Prevención y protección

1. INTRODUCCION

Si bien las explosiones producidas en ambientes con polvo combustible se presentan de forma muy ocasional las eventuales consecuencias de las mismas hace que sea necesaria una adecuada gestión del riesgo de manera que se mantenga controlado.

La presente guía trata de describir las variables que influyen en este tipo de fenómenos así como las medidas preventivas para tratar de evitarlas y las medidas de protección para paliar las consecuencias de éstas en caso de que se produzcan.



Incendio tras una explosión en industria de tratamiento de madera

2. ANÁLISIS DEL RIESGO DE EXPLOSIÓN DE POLVO

Las partículas de polvo, en ciertas condiciones de granulometría, humedad, temperatura, concentración, etc. en aire ambiente y en presencia de una fuente de ignición suficiente son susceptibles de provocar y mantener una combustión que puede adoptar alguna de las siguientes formas:

1. Deflagración, en la que se presenta un frente de llama, más o menos definido que avanza a una velocidad que está determinada por la velocidad de avance de la propia llama y la de expansión de los gases producto de la combustión que va dejando a su paso. En función de esta velocidad, de la presencia de confinamiento, de las características del polvo, etc. pueden producirse, o no, aumentos significativos de presión, resultando en:

1.a. Deflagraciones no explosivas, también denominadas llamaradas, cuando no existen aumentos significativos de presión, normalmente limitadas a espacios no confinados

1.b. Deflagraciones explosivas, cuando sí existen aumentos significativos de presión, produciéndose una onda de presión que viaja a la velocidad del sonido, normalmente precediendo el avance de la llama.

2. Detonación, en la que se produce la combustión cuasi instantánea de la mezcla de aire con el combustible, no contando con un frente de llama sino que se produce una onda de choque en la que la combustión es simultánea a la onda de presión. Lo normal en lo que se refiere a polvos combustibles es que, de haber detonación, se llegue a ésta como transición desde una deflagración.

Las caracterizadas como 1.b y 2 son las llamadas explosiones de polvo, si bien son las caracterizadas en el apartado 1.b las consideradas como más comunes, considerándose que no son posibles detonaciones en polvos caracterizados como St-1, que, como más adelante se verá, es el grupo del polvo más común.

Es reconocido que para que exista una explosión de polvo es necesario que concurren las siguientes condiciones (conocidas como pentágono de las explosiones de polvo):

1. Polvo combustible.
2. Comburente, normalmente el oxígeno del aire.
3. Contacto suficiente entre combustible y comburente (polvo en nube en concentraciones determinadas).
4. Fuente de ignición suficiente.
5. Confinamiento, ya sean equipos, conductos o edificios.



Instalación de tratamiento de astilla de madera

2.1 POLVO COMBUSTIBLE

Los parámetros caracterizadores de una sustancia pulverulenta en cuanto a su comportamiento en lo que se refiere al riesgo de explosión pueden dividirse en dos grupos:

a) Sensibilidad a la explosión Son los relacionados con la susceptibilidad del material considerado al inicio de una explosión.

b) Severidad de la explosión

Son los relacionados con la magnitud de los efectos de una eventual explosión. De acuerdo con los valores que se obtengan, los polvos combustibles se clasificarían, según la normativa técnica, en orden creciente a su peligrosidad como St-1, St-2 o St-3.

Tanto los parámetros referidos a la sensibilidad de explosión como a los de severidad, son dependientes de las características del polvo, tales como:

- composición química,
- granulometría,
- contenido de humedad, etc.

En la Tabla I se muestra la clasificación de polvos combustibles comunes en la industria agrupados por actividades.

Tabla I: Clasificación de explosividad de algunas materias

Material	Granulometria (d ₅₀) (µm)	Clase St
PRODUCTOS AGRICOLAS		
Almidón de arroz	18	St-1
Almidón de maíz	7	St-2
Almidón de trigo	22	St-1
Azúcar	30	St-1
Celulosa	33	St-1
Harina de soja	20	St-1
Leche en polvo	83	St-1
Maíz	28	St-1
Pulpa de celulosa	42	St-1
Tapioca	22	St-1
PRODUCTOS CARBONACEOS		
Carbón activado	28	St-1
Carbón bituminoso	24	St-1
Carbón vegetal	14	St-1
Coque de petróleo	15	St-1
Hollín de pino	< 10	St-1
Lignito	32	St-1
PRODUCTOS QUIMICOS		
Acetato de calcio	92	St-1
Acido adipico	< 10	St-1
Acido Ascórbico	39	St-1
Antraquinona	< 10	St-3
Azufre	20	St-1
Dextrina	41	St-1
Lactosa	23	St-1
METALES		
Aluminio	29	St-3
Bronce	18	St-1
Magnesio	28	St-3
Zinc	< 10	St-1
POLIMEROS		
Poliacrilamida	10	St-1
Poliacrilonitrilo	25	St-1
Policloruro de vinilo	107	St-1
Polietileno (HDPE)	< 10	St-1
Polimetil acrilato	21	St-2
Polipropileno	25	St-1
Resina de Melamina	18	St-1
Resina Epoxy	26	St-1
Resina fenólica	<10	St-1

Fuente: NFPA 68

2.2. COMBURENTE

El oxígeno del aire, presente en el mismo en una concentración media del 21% (v/v) resulta el comburente más común en la problemática presentada.

2.3. CONTACTO COMBUSTIBLE-COMBURENTE

Esta circunstancia se ve influenciada por dos hechos: por un lado las características del polvo, principalmente en cuanto a su granulometría, y por otro por la suspensión del polvo en aire.

No todas las mezclas de polvo y aire pueden dar lugar a explosiones. Para ello es preciso una adecuada relación entre ambos, es decir, una concentración de polvo en aire, sin la cual no es susceptible de provocar una combustión.

Asimismo las nubes de polvo pueden generarse por agitación de capas de polvo depuestas en un recinto, siendo el caso más crítico la onda de presión provocada por una explosión en otro recinto conectado, que supondría explosiones adicionales.

2.4. FUENTE DE IGNICIÓN

Las fuentes de ignición, atendiendo a su origen pueden clasificarse como:

- **De origen químico**, motivado por alguna reacción química (descomposición, polimerización, autocalentamiento, etc.)

- **De origen térmico**, contacto con elementos o superficies calientes

- **De origen mecánico**, provocada por fricción, choque o fractura de materiales duros, con posibilidad de presencia en equipos mecánicos

- **De origen eléctrico**, provocado por chispas o arcos eléctricos, tanto por conductores activos como por eventuales acumulaciones de electricidad estática, o por calentamiento puntual que supere la temperatura de ignición del polvo. La prevención de estas fuentes de ignición supone la disposición de una instalación eléctrica adecuada (Reglamento electrotécnico para baja tensión).

2.5. CONFINAMIENTO

Dado que la combustión implica la liberación de energía, ésta supone un aumento de temperatura, lo cual significaría un aumento de volumen, un aumento de presión o, si existe cierto alivio, una combinación de ambos.

2.6. CONCLUSIONES

Visto lo anterior y como conclusión se incide en los aspectos sobre los que, dentro de la actividad considerada y sin variaciones drásticas de tecnología, basarse en:

- Medidas técnicas para la prevención de explosiones
- Medidas técnicas para la protección contra explosiones
- Medidas organizativas

3. TRATAMIENTO PREVENTIVO DEL RIESGO DE EXPLOSIÓN DE POLVO

Se indican a continuación medidas aplicables para el tratamiento preventivo del riesgo de explosión de polvo siendo agrupadas de acuerdo con el elemento a tratar

3.1. CONTROL DEL MATERIAL

Como medidas de control sobre el material, lógicamente dependiente de las especificaciones del proceso de que se trate, no siendo en la mayoría de los casos viable, sin un cambio importante en la tecnología de los procesos, la aplicación de este tipo de medida.

3.2. CONTROL DE NUBES DE POLVO

Control de las concentraciones en transporte neumático, con una correcta evaluación de los caudales de polvo y de aire trasegados, manteniendo concentraciones, con cierto coeficiente de seguridad por debajo de la mínima necesaria para que exista una explosión.

Diseño de los conductos y equipos de manera que se evite, en conjunción con la medida siguiente, los depósitos de polvo en el interior de los mismos.

Control de la velocidad de aire en transporte neumático, no debiendo en ningún caso ser inferior a 23 m/s en el transporte de partículas y a 20-m/s en el transporte de polvo. En cada instalación debe verificarse el montaje periódicamente y, en aquellas susceptibles de regulación con compuertas, etc., cada vez que se modifique la disposición de las mismas. Para ello es conveniente asimismo el bloqueo de las compuertas en la posición en que se determine, permitiéndose únicamente su manipulación a personal responsable.

Estanqueidad de equipos e instalaciones que manejen polvo, evitando fugas que puedan formar nubes de polvo, o, en cualquier caso, suponga carga de polvo que se deposite sobre el suelo, equipos y estructuras.

Sistemas de captación o recogida de polvo en los puntos en que se produzca en contacto con la atmósfera.

Estanqueidad de los equipos que trabajan a presiones por debajo de la atmosférica (p.e. filtro de mangas) evitando infiltraciones de aire que puedan disminuir las prestaciones del sistema en los puntos de aspiración previstos inicialmente.

Limpieza "continua" de las áreas en las que se produzcan acumulaciones de polvo. Lógicamente, cuanto mayor sea la eficacia de las medidas anteriores, menor será la frecuencia necesaria para la consecución de los objetivos.

Los **trabajos de limpieza** deberían realizarse preferentemente mediante aspiración o recogida directa, evitando el uso de aire comprimido o, en general, cualquier medio que suponga la formación de nubes. En tal caso deberían adoptarse las medidas pertinentes, tales como, inspección previa del área, corte de alimentación eléctrica si hay presente equipo no adecuado, delimitación del área, etc.

3.3. CONTROL DE FUENTES DE IGNICIÓN

El control de las fuentes de ignición, de acuerdo con el análisis debe tratarse en los siguientes ámbitos:

3.3.1. Instalación eléctrica

La instalación eléctrica debe diseñarse, instalarse y mantenerse de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, que desarrolla sus requisitos en Instrucciones Técnicas Complementarias. La ITC MI BT 026 que establece las prescripciones particulares para las instalaciones en locales con riesgo de incendio o explosión.

El tratamiento preventivo en este aspecto debe empezar por la limitación, aplicando las medidas señaladas anteriormente, del ámbito de las zonas clasificadas.

A continuación se indican de forma extractada algunos de los requisitos exigidos para la instalación eléctrica.

- * Protección contra contactos indirectos. Requisitos sobre unión neutro a tierra. Protección instantánea contra defectos a tierra.
- * Red de unión equipotencial. Todas las masas metálicas conectadas entre sí y a tierra.
- * Protección eléctrica, incluyendo protección de motores trifásicos contra fallo de una fase.
- * Canalizaciones. Entradas a equipos selladas. Conductores activos (fases y neutro) bajo tubo metálico (rígido o flexible) o cable con protección mecánica.
- * Grado de protección de las envolventes , estancas al polvo
- * Temperatura superficial máxima de los equipos eléctricos
- * Envolventes resistentes al impacto y formas que eviten la acumulación de polvo.
- * Revisiones periódicas Anualmente la instalación debe ser revisada por un instalador autorizado emitiendo el correspondiente boletín.

3.3.2. Equipos mecánicos

Los equipos mecánicos, debido en parte a que históricamente no han sido sometidos a una normativa y reglamentación tan detallada como otras instalaciones, constituyen el tipo de equipos más identificados como causantes de ignición de nubes de polvo, ya sea como efecto de chispas por rozamiento, como consecuencia de calentamientos anómalos debidos a averías o como consecuencia de fricciones "anormales".

Como norma de tratamiento para la selección o el diseño de instalaciones deben seguirse los siguientes

principios:

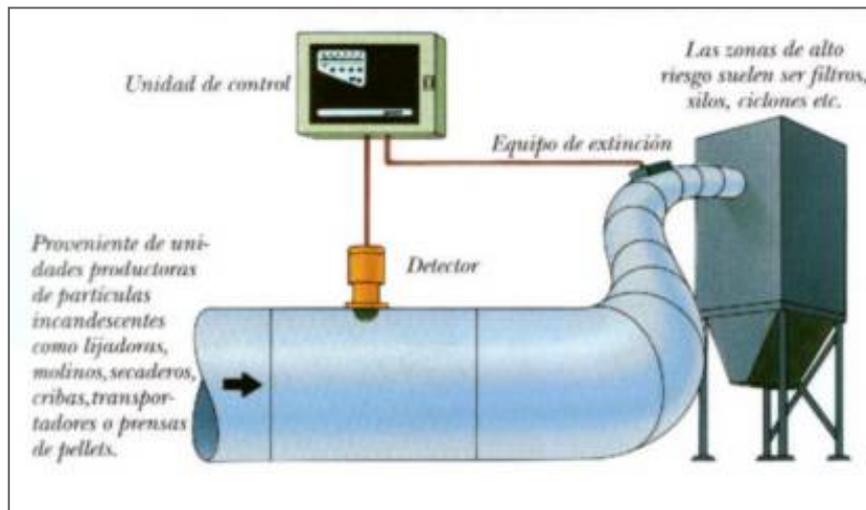
1. Separación de elementos mecánicos en movimiento del material combustible, con medidas tales como la ubicación de cojinetes fuera de contacto con material combustible, ventiladores situados "agua abajo" de dispositivos de separación (filtros, ciclones), etc.
2. Utilización de equipos que no produzcan chispas (p.e. ventiladores con álabes de aluminio).
3. Eliminación del material de partículas metálicas y pétreas que puedan ocasionar chispas (separadores magnéticos, densimétricos, etc.)

En los casos en que lo anterior no sea posible deberían disponerse los medios para, de una manera precoz, identificar la posibilidad de fallo, normalmente a través de medidas de mantenimiento

3.3.3. Detección-extinción de chispas

La gestión de las fuentes de ignición provocadas por equipos que en condiciones normales de funcionamiento generan chispas (secaderos de contacto, molinos de material seco, máquinas de corte, etc.), implica que se dispongan sistemas de detección y extinción de las mismas, en continuo sin interrupción del proceso productivo, lógicamente tan inmediatas al punto de generación como sea posible y en cualquier caso previo a la entrada en recipientes (ciclones, filtros de mangas, etc.).

Sistemas de este tipo pueden ubicarse para la protección de equipos que en condición de avería generen chispas (p.e. ventiladores) sirviendo, además de medio de prevención de explosiones, como indicador de mal funcionamiento del equipo considerado.



Esquema de funcionamiento de sistema de detección-extinción de chispas

3.3.4. Otras medidas de control

- * Procedimiento de trabajos en caliente, estableciendo las condiciones físicas de realización y estableciendo el personal autorizado y autorizante.
- * Protección contra rayos
- * Control de electricidad estática mediante unión equipotencial y puesta a tierra de masas metálicas, utilización de materiales antiestáticos, humectación del producto o del ambiente cuando sea viable, etc.
- * Instalación de dispositivo apagachispas en el escape de los vehículos con motor de explosión que trabajen en zonas con riesgo de explosión.
- * Fumadores. Debe prohibirse fumar en las áreas en que haya presencia de polvo.

3.4. CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO

El control de la concentración de oxígeno se basaría, en los casos en que procediera, en la utilización de un gas inerte (nitrógeno o dióxido de carbono) en la atmósfera de los equipos y conductos de manera que la concentración de oxígeno se reduzca a niveles de aproximadamente el 5%. En la mayoría de los casos no es posible aplicar medidas de este tipo.

4. PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

La protección contra explosiones comprende los dispositivos y técnicas encaminadas a eliminar o reducir las consecuencias derivadas de la ignición de una nube de polvo. El fin de los sistemas propuestos comprende tanto la integridad de las instalaciones como la protección de la vida de los trabajadores.

4.1. FUNDAMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES DE POLVO

En el caso de que las medidas de prevención fallaran y se produjera la ignición de una nube de polvo en el interior de un recinto caben las siguientes posibilidades:

- **Suprimir la explosión**, mediante la descarga en el recinto iniciador de agente extintor que apague la explosión incipiente.

- Provocar una "**explosión segura**" mediante alguno, o combinación, de estos medios:
 - **Alivio** de la explosión, mediante aberturas que limiten la presión alcanzada en el recipiente y descargando la misma a zonas "seguras".

 - **Contención** de la explosión en el recinto en que se ha originado

 - **Aislamiento** de la explosión, impidiendo la propagación de la explosión a otros equipos a través, p.e., de conductos.

Por otro lado, debe preverse la posibilidad de transmisión de la explosión desde el equipo iniciador a través de conducciones a otros equipos, con la problemática que ello implica en cuanto al desarrollo de presiones superiores o en los casos en que el venteo no sea posible en condiciones seguras

4.2. CRITERIOS GENERALES A APLICAR PARA LA PROTECCIÓN

4.2.1. Recintos

Por recinto se entiende un equipo en el que se encuentra o puede encontrarse polvo en suspensión. Para ellos se contempla, en el siguiente orden de preferencia la aplicación de:

- Alivio mediante paneles de ruptura

- Alivio conducido si la descarga pudiera afectar desfavorablemente a otros equipos o zonas ocupadas.

- Supresión, si el alivio no fuera posible, por ubicación o por disposición constructiva o en aquellos casos en que la eventual explosión pueda ser de difícil tratamiento.



Sistema de protección en equipo de proceso mediante supresión

4.2.2. Conducciones

Entendiendo por conducción las disposiciones constructivas que comunican recipientes, normalmente de carácter lineal, se contempla lo siguiente:

- Aislamiento mediante elementos que aseguren un cierre o "sello" de material (válvulas rotativas y tornillos sinfín de carcasa cilíndrica con accionamiento a control de nivel, etc.)
- Alivio mediante disposición de paneles de ruptura o dispositivos análogos, de manera similar a lo contemplado en recintos. La función principal de estos alivios sería el control de las presiones desarrolladas en la transmisión de una deflagración.
- En los casos en los que la transmisión de la deflagración lo sea, o pueda ser, a equipos ubicados en interior, aislamiento.



Protección de conducciones mediante alivio

5. MEDIDAS ORGANIZATIVAS

Los trabajos en zonas clasificadas, aunque dentro del alcance global de la Ley 30 /1995 de Prevención de Riesgos Laborales, actualmente no cuentan con disposiciones específicas en las que se regulen las condiciones de dichas zonas como "Lugares de trabajo", o para el acceso, permanencia o realización de trabajos en las mismas.

No obstante, se tomará como referencia la Directiva relativa a Disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas (ATEX 118 A).

Siguiendo las directrices expuestas en dicha disposición se tendrían en cuenta los siguientes puntos:

5.1. CLASIFICACIÓN DE ZONAS

Debe realizarse una clasificación de áreas (20, 21 ó 22) en función de la probabilidad o frecuencia de nubes de polvo. La zona 20 (presencia continua o frecuente de nubes de polvo) debe restringirse únicamente al interior de equipos. En general, debe reducirse, dentro de lo posible, el número, la dimensión y el grado de clasificación de las zonas.

5.2. CONDICIONES GENERALES

Los trabajos en áreas clasificadas, como norma general se realizarán bajo las siguientes condiciones:

- Deben ser zonas de acceso limitado, esto es, sólo personal autorizado.
- El personal que acceda debe tener formación específica en los peligros y prevención de las explosiones de polvo, acorde con las funciones para las que se le habilite.
- El personal que acceda debe tener la disponer de la competencia adecuada o estar bajo la supervisión directa de personal con dicha competencia.
- Los equipos de trabajo que se utilicen en dichas zonas serán adecuados para el trabajo en las mismas.
- En caso de que lo anterior no sea posible, para lo que será preceptivo la emisión de un permiso de trabajo, en el que figurarán las precauciones necesarias para impedir la ignición del polvo.
- Se prohibirá el acceso o permanencia en zonas con presencia continua o frecuente de nubes de polvo. Para el acceso a dichas zonas será preceptiva la emisión de un permiso de trabajo en el que se detallarán las condiciones para el trabajo que se vaya a realizar.
- Se señalarán las zonas en que exista peligro de explosión de nubes de polvo y las zonas en que se produzcan los venteos, de manera que se reduzca al mínimo posible la permanencia en dichas zonas.
- Los trabajos que se realicen en el interior de equipos deberán realizarse con el equipo "fuera de servicio" y aislados (en lo que a la posibilidad de transmisión de una explosión se refiere), respecto del resto de equipos que estén funcionando.
- El personal que trabaje en dichas zonas dispondrá de vestimenta de material ignífugo. Dicha vestimenta será compatible con las necesidades ergonómicas y de higiene para la ejecución de los trabajos.



Transportes y silos protegidos con alivios

6. CONCLUSIONES

El peligro de explosión de polvo, si bien de manifestación ocasional, puede suponer accidentes con repercusiones tanto sobre los empleados como sobre los equipos e instalaciones y sobre la continuidad de la actividad.

Las medidas preventivas y de protección, si bien se encuentran en un periodo transitorio en lo que se refiere a legislación y a normativa (nivel europeo), cuentan actualmente con soluciones técnicas y comerciales de reconocida solvencia que pueden y deben ser aplicadas para anular o reducir los efectos sobre personas y bienes.

ANEXO

NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN DE REFERENCIA

Para la evaluación del riesgo y determinación de las condiciones de operación y medidas que se deben disponer se contemplan las siguientes disposiciones, normas y guías:

Consejo de las Comunidades Europeas

Directiva relativa a Disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas

Ministerio de Industria. Reglamento Electrotécnico para Baja tensión,

Instrucción ITC MI BT 026 "Instalación eléctrica en emplazamientos con riesgo de incendio y explosión"

R.D. 100/1996, relativa a la certificación y marca "CE" de equipos a ser instalados en áreas con riesgo de incendio y explosión

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: Notas Técnicas de prevención

N.T.P 29.82 "Instalaciones de recogida de polvos combustibles. Control del riesgo de explosión" N.T.P 396
"Deflagraciones producidas por gases, vapores y polvos combustibles: sistemas de protección" N.T.P. 428 y 429
"Paramentos débiles para el venteo de alivio de explosiones"

National Fire Protection Association. National Fire Codes

NFPA 91 Standard for Exhaust System for Air Conveying of Materials NFPA 68 Guide for Venting of Deflagrations NFPA 69 Standard on Explosion Prevention Systems

[volver arriba](#)